

UNIVERSIDAD DE CUENCA



FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

“ANÁLISIS DE PATOLOGÍAS EN LA PLATAFORMA DE RIELES DEL PROYECTO TRANVÍA CUATRO RÍOS DE CUENCA”

Trabajo de titulación, previo a la
obtención del título de Ingeniero
Civil

AUTORES:

CESAR ADRIAN VÁSQUEZ BERREZUETA.

C.I.: 0105107932

CESAR AUGUSTO VÁSQUEZ BERREZUETA.

C.I.: 0105107940

DIRECTOR:

ING. DANIEL E. MOGROVEJO C. M.Sc. PhD.

C.I: 0301500476

CUENCA – ECUADOR
2017.



Resumen

La aparición de patologías en la plataforma de rieles del proyecto tranvía ubicadas en la Avenida México es un tema de preocupación de los responsables de la ejecución y fiscalización de la obra. De aquí el interés del estudio de las patologías presentes en la plataforma ya que el desconocimiento del grado de afectación puede provocar a futuro el mal funcionamiento del mismo. En el presente trabajo se realiza el análisis de patologías mediante ensayos no destructivos sobre la plataforma de rieles, la modelación de su comportamiento bajo la acción de cargas, la determinación de las posibles causas que dieron origen a las patologías y finalmente se proponen alternativas de solución al problema.

Los ensayos que se realizaron fueron: levantamiento de fisuras, pruebas de ultrasonido, esclerometría y profundidad de carbonatación. Además, la modelación de la plataforma se realizó mediante el software ANSYS.

Se determinó que la mayoría de las fisuras se originaron por: falta de acero de refuerzo en las capas que conforman la estructura de la plataforma, por contracción y retracción del hormigón al estar expuestos a diferenciales de temperatura, además que el hormigón presenta alteraciones en su interior debido a ineficiencias constructivas (falta de vibrado, un curado inadecuado o exceso de agua para facilitar su colocación) y que existe un riesgo de corrosión en las riostras ya que la baja de pH máxima alcanza el 70% del recubrimiento. Sería conveniente tratar las fisuras activas con un relleno mediante sellante elástico y las fisuras pasivas mediante inyección de resina epóxica o micro-cemento. Finalmente buscar la opción más adecuada para recuperar el monolitismo de las losas y exista una mejor distribución de esfuerzo.

Palabras clave: análisis de patologías, proyecto tranvía, ultrasonido, esclerometría, profundidad de carbonatación, comportamiento por modelación.



Abstract

The significant number of pathologies found at the "Tranvia de Cuenca" project, located in Mexico Avenue; represent a big concern for future performance of this infrastructure. Infrastructure evaluation was performed by the use of non-destructive testing, this information was used for structural modeling to understand the behavior of the analyzed infrastructure under the predicted loads. The results show that it was possible to determine the origin of the pathologies, and therefore the possibility of drawing the correct alternatives to solve the problems.

The performed forensic tests and modeling were among others: cracking analysis, ultrasound monitoring, rebound hammer testing, carbonation depth tests, and infrastructure modeling using ANSYS software.

The conclusions show that most of the cracks were originated by the lack of reinforced steel into the platform layers, along with concrete contraction and retraction due to temperature differentials and bad or no curing. Furthermore, the concrete analyzed on the platform presents properties and physical changes because of constructive flows like: insufficient vibration, inadequate curing, or added water (with no control) during construction to facilitate workability; potentials of active corrosion is also a problem, due to carbonation penetration at critical location (around 70% of the coating). . Recommendations focuses on sealing active cracks with non-rigid sealant i.e. polyurethane) and the passive cracks with epoxy resin injection, or micro cement. Finally, it is recommended as well to recover the structure's monolithism on the slabs, in order to have a better stress distribution.

Key words: pathologies, forensic engineering, cracks, ultrasound tests, rebound hammer tests, carbonation depth tests, stress distribution, structural modeling.



CONTENIDO

Resumen	1
Abstract	2
Cláusulas de Responsabilidad.....	9
Cláusulas de Reconocimiento.....	11
Dedicatoria.....	13
Agradecimientos	15
1. INTRODUCCIÓN.....	17
1.1. Antecedentes	18
1.2. Justificación.	19
1.3. Objetivos	19
1.3.1. Objetivo General	19
1.3.2. Objetivos Específicos.....	19
2. MARCO TEORICO.....	20
2.1. Ingeniería forense	20
2.2. Evaluación Visual.....	20
2.2.1. Alcances:.....	21
2.3. Pruebas de Ultrasonido.....	21
2.3.1. Alcances:.....	22
2.3.2. Utilización:.....	22
2.3.3. Opciones para instalar los transductores en la superficie de prueba.....	23
2.3.4. Calibración del Equipo.....	26
2.3.5. Registro e interpretación de datos:	27
2.3.6. Determinación de profundidad e inclinación de fisuras mediante pruebas de ultrasonido:	28
2.4. Esclerometría	29
2.4.1. Alcances:.....	30
2.4.2. Utilización:.....	31
2.4.3. Factor de corrección del índice esclerométrico	31
2.5. Profundidad de carbonatación.....	34
2.5.1. Procedimiento	35
2.5.2. Velocidad de avance del frente de carbonatación.....	35
2.5.3. Interpretación	35
2.5.4. Vida remanente.....	36
2.5.5. Modelo de la raíz cuadrada del tiempo	37



2.5.6.	Factores de influencia de la profundidad de carbonatación	38
2.6.	Modelación.....	39
2.6.1.	Realización de cálculo	39
2.6.2.	Alcances.....	39
3.	ALCANCE DE LA EVALUACIÓN	40
3.1.	Ubicación.....	40
3.2.	Especificaciones constructivas:	41
3.3.	Elementos que componen la plataforma tranviaria	43
3.3.1.	Hormigón de limpieza	43
3.3.2.	Prismas multitubulares	43
3.3.3.	Bordillos GLO (Galibo Libre de Obstáculos)	43
3.3.4.	Losa de fundación	43
3.3.5.	Losa de Base (losa de la vía)	44
3.3.6.	Plataforma de asiento	44
3.3.7.	Propiedades de las durmientes.....	44
3.3.8.	Propiedades de los rieles.....	45
3.4.	Propiedades de juntas.....	46
3.4.1.	Juntas en la capa de fundación	46
3.4.2.	Juntas en la capa de base (losa de la vía).....	47
3.5.	Propiedades de hormigones y aditivos	47
3.5.1.	Hormigón de losa de limpieza	47
3.5.2.	Hormigón de losa de fundación	48
3.5.3.	Hormigón de losa de base	48
3.5.4.	Tipos de aditivos.....	49
4.	METODOLOGÍA	51
4.1.	Evaluación Visual: Análisis de patologías en el hormigón.....	51
4.2.	Pruebas de Ultrasonido sobre la plataforma de base.....	51
4.2.1.	Determinación de la calidad del hormigón de base.....	51
4.2.2.	Determinación de profundidad e inclinación de fisuras	52
4.3.	Esclerometría	52
4.4.	Profundidad de Carbonatación.	53
4.4.1.	Vida Remanente	55
4.4.2.	Curva de vida remanente	55
4.5.	Modelación de la plataforma	55
4.5.1.	Características del tranvía	55



4.5.2.	Parámetros de la modelación	57
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	60
5.1.	Evaluación Visual: Análisis de patologías en el hormigón.....	60
5.2.	Pruebas de ultrasonido	65
5.3.	Esclerometría	68
5.4.	Profundidad de carbonatación.....	70
5.4.1.	Vida remanente.....	72
5.4.2.	Curva de vida remanente	73
5.4.3.	Corrección de resistencia (factores de influencia de la profundidad de carbonatación)	73
5.5.	Modelación.....	75
5.5.1.	Resultados de la modelación	77
6.	CONCLUSIONES.	88
7.	RECOMENDACIONES	90
8.	BIBLIOGRAFÍA	91
9.	ANEXOS	94
9.1.	ANEXO 1. Nota Técnica juntas en la vía de hormigón.....	94
9.2.	ANEXO 2. Hoja técnica – Cemento de alta resistencia inicial tipo HE.....	95
9.3.	ANEXO 3. Diseño de hormigón hidráulico.....	98
9.4.	ANEXO 4. Certificado de producto – Naturaleza de los áridos del hormigón.....	101
9.5.	ANEXO 5. Características técnicas de aditivos utilizados	104
9.6.	ANEXO 6. Esquema de fisuras en losas analizadas	112
9.7.	ANEXO 7. Tabla de valores obtenidos mediante pruebas de ultrasonido para los diferentes puntos de cada losa	116
9.8.	ANEXO 8. Tabla de valores obtenidos mediante pruebas con esclerómetro para los diferentes puntos de cada losa	122



Índice de Figuras

Figura 1. Esquema del proceso de Ultrasonido.....	21
Figura 2. Equipo utilizado para las pruebas de ultrasonido	22
Figura 3 Modos de configuración para realizar las pruebas de ultrasonido.	23
Figura 4 Método para determinar la distancia de trayectoria con la configuración indirecta. ..	24
Figura 5 Método para obtener distancia de trayectoria con transmisión indirecta.	24
Figura 6 Distancia vs Tiempo con cambios de pendiente.	26
Figura 7. Barra de calibración de equipo de ultrasonido	27
Figura 8. Posición de transductores para determinar la profundidad de una fisura	28
Figura 9. Posición de los transductores para determinar la inclinación de una fisura	29
Figura 10. Equipo utilizado para realizar las pruebas con esclerómetro	30
Figura 11. Curvas de Calibración Esclerométrica.	33
Figura 12. Curvas de Calibración Esclerométrica según Tipo de Hormigón.....	34
Figura 13. Curvas de Calibración Esclerométrica según Tipo de Hormigón.....	34
Figura 14. Reacción fenolftaleína.....	35
Figura 15. Modelo de vida útil de una estructura.....	36
Figura 16. Esquema de vida útil de una estructura.....	38
Figura 17 Ubicación tramo cochera y patio taller.....	40
Figura 18 Ubicación tramo cochera y patio taller.....	40
Figura 19. Detalle vía de línea principal y vía de conexión.....	41
Figura 20. Detalle de vía de línea principal y vía de conexión	41
Figura 21. Detalle de vía de depósito - Plataforma exterior	42
Figura 22. Detalle de vía de depósito - Edificios taller y cocheras	42
Figura 23. Detalle de vía de línea - Centro histórico	42
Figura 24. Dimensiones y forma de Rieles.	46
Figura 25. Configuración de los transductores	51
Figura 26. Prueba con esclerómetro sobre losa de base	53
Figura 27. Curvas de Calibración Esclerométrica. $F'c = 300 \text{ kg/cm}^2$	53
Figura 28. Picado de losa en puntos sobre riostras	54
Figura 29. Reacción de fenolftaleína	54
Figura 30. Esquema de tranvía de Cuenca	55
Figura 31. Fotografía del tranvía Cuatro Ríos de Cuenca.....	56
Figura 32. Esquema de bogíes que conforman el tranvía	56
Figura 33. Esquema de modelo, vista en planta	57
Figura 34. Aplicación de cargas sobre un riel.....	58
Figura 35. Consideraciones de carga sobre la plataforma	59
Figura 36. Plataforma usada en el modelo	59
Figura 37. Fisuras ocasionadas sobre los separadores de durmientes	60
Figura 38. Fisuras ocasionadas sobre los separadores de durmientes	61
Figura 39. Riostras de durmientes bi bloque	61
Figura 40. Riostras de durmientes bi bloque	61
Figura 41. Fisuras perpendiculares al riel.....	62
Figura 42. Presencia de poros en bordillo GLO.....	62
Figura 43. Presencia de poros en bordillo GLO.....	63
Figura 44. Fisura transversal en bordillo GLO.	63
Figura 45. Fisura transversal en bordillo GLO.	64



Figura 46. Fisura transversal en bordillo GLO.	64
Figura 47. Esquema de fisuras para losas 1, 2 y 3.	65
Figura 48. Curva de vida remanente mediante modelo de la raíz cuadrada del tiempo	73
Figura 49. Modelo de la plataforma sin fisuras en Ansys.	75
Figura 50. Plataforma con cargas al centro de la losa.	76
Figura 51. Plataforma con cargas al extremo de la losa	76
Figura 52. Modelo de plataforma con fisuras en Ansys.	76
Figura 53. Plataforma con cargas al centro de la losa.	76
Figura 54. Plataforma con cargas al extremo de la losa	76
Figura 55. Tensión en plataforma sin fisuración	77
Figura 56. Tensión en plataforma con fisuración.	77
Figura 57. Deformación por tensión en plataforma sin fisuras.	78
Figura 58. Deformación por tensión en plataforma con fisuras.	78
Figura 59. Cortante en plataforma sin fisuración	79
Figura 60. Cortante en plataforma con fisuración	79
Figura 61. Deformación por cortante en plataforma sin fisuras.	80
Figura 62. Deformación por cortante en plataforma con fisuras.	80
Figura 63. Deformación total plataforma sin fisuras.	81
Figura 64. Deformación total plataforma con fisuras.	81
Figura 65. Tensión en plataforma sin fisuración	82
Figura 66. Tensión en plataforma con fisuración.	82
Figura 67. Deformación por tensión en plataforma sin fisuras	83
Figura 68. Deformación por tensión en plataforma con fisuras	83
Figura 69. Cortante en plataforma sin fisuración	84
Figura 70. Cortante en plataforma con fisuración	84
Figura 71. Deformación por cortante en plataforma sin fisuras.	85
Figura 72. Deformación por cortante en plataforma con fisuras	85
Figura 73. Deformación total plataforma sin fisuras	86
Figura 74. Deformación total plataforma con fisuras	86



Índice de Tablas

Tabla 1. Clasificación según Leslie y Cheesman.	27
Tabla 2. Clasificación según Agraval.	28
Tabla 3. Velocidad mínima en estructuras típicas.	28
Tabla 4. Valores de $f'c$ en función del Índice Esclerométrico Q.	32
Tabla 5. Resultados del Ajuste Exponencial para las Hormigoneras 1 y 2.	33
Tabla 6. Calidad del hormigón en función de la tasa de deterioro.	37
Tabla 7. Factores de corrección, profundidad de carbonatación.	38
Tabla 8. Características losa de limpieza.	43
Tabla 9. Características losa de fundación.	44
Tabla 10. Características losa de base.	44
Tabla 11. Información de rieles.	46
Tabla 12. Dosificación para hormigón de la capa de limpieza.	47
Tabla 13. Dosificación para hormigón de la capa de fundación.	48
Tabla 14. Dosificación para hormigón de la capa base.	48
Tabla 15. Especificaciones de los hormigones.	49
Tabla 16. Distribución de masas entre bogíes del tranvía.	56
Tabla 17. Cargas consideradas en la modelación.	58
Tabla 18. Velocidades de pulso corregidas de las diferentes losas.	67
Tabla 19. Valores de resistencia esclerómetro.	69
Tabla 20. Valores profundidad de carbonatación, cálculo de factor de corrección.	70
Tabla 21. Valores de profundidad de carbonatación, cálculo de curva de vida remanente.	71
Tabla 22. Resultados de vida remanente.	72
Tabla 23. Valores de resistencia a compresión final.	75



Cláusulas de Responsabilidad



Universidad de Cuenca

Cláusula de Propiedad Intelectual

Yo, César Adrián Vásquez Berrezueta, autor del trabajo de titulación "Análisis de patologías en la plataforma de rieles del proyecto tranvía cuatro ríos de Cuenca", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor

Cuenca, Octubre 2017

César Adrián Vásquez Berrezueta

C.I. 0105107932



Universidad de Cuenca
Cláusula de Propiedad Intelectual

Yo, César Augusto Vásquez Berrezueta, autor del trabajo de titulación "Análisis de patologías en la plataforma de rieles del proyecto tranvía cuatro ríos de Cuenca", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor

Cuenca, Octubre 2017

César Augusto Vásquez Berrezueta

C.I 0105107940



Cláusulas de Reconocimiento



Universidad de Cuenca

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Yo, César Adrián Vásquez Berrezueta, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Análisis de patologías en la plataforma de rieles del proyecto tranvía cuatro ríos de Cuenca", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior

Cuenca, Octubre 2017

César Adrián Vásquez Berrezueta

C.I 0105107932



Universidad de Cuenca

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Yo, César Augusto Vásquez Berrezueta, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Análisis de patologías en la plataforma de rieles del proyecto tranvía cuatro ríos de Cuenca", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior

Cuenca, Octubre 2017

César Augusto Vásquez Berrezueta

C.I: 0105107940



Dedicatoria

*El presente trabajo de titulación dedico a mi familia.
Para mi madre Teresa, quien siempre estuvo ahí alentándome, enseñándome a luchar por
mis sueños, a no rendirme jamás y que gracias a ella soy lo que soy.
A mis hermanos Byron y Augusto que son lo mejor que tengo en la vida y que siempre me
han demostrado su apoyo y cariño incondicional cada día.
A mis abuelitos y mis tías, que siempre me han brindado sus mejores consejos y han
sabido transmitir en mí la manera correcta de actuar en la vida.
A Estefanía que siempre estuvo alentándome a concluir con mis metas a pesar de las
adversidades y dificultades que se presentaron.*

César Adrián



Dedicatoria

Este trabajo y todo el esfuerzo puesto en la carrea de ingeniería quiero dedicarlo a todas las personas que fueron un gran apoyo y siempre estuvieron ahí. En primer lugar a mi madre Teresa por ser el apoyo fundamental e incondicional en todo momento, a mis dos hermanos Byron y Adrián quienes son lo más valioso que tengo quienes me han dado un cariño y apoyo infinito desde que éramos unos niños. A mis abuelitos gracias por los valores que pusieron en mí y por estar siempre presentes. A mis tías quienes han sido un pilar fundamental para cumplir esta meta. A Gabriela quien siempre ha estado ahí ayudándome a buscar un motivo más para no darme por vencido y nunca dudar de mí a pesar de lo difícil que parezca. Estoy infinitamente agradecido con todos ustedes.

César Augusto



Agradecimientos

Quiero agradecer a Dios por ayudarme a culminar una meta más en mi vida, a mi familia por todo el apoyo incondicional brindado a lo largo de todo este trayecto.

Especialmente agradezco al Ing. Daniel Mogrovejo por la ayuda y guía brindada para que se ha posible el desarrollo y culminación de este trabajo.

Al Ing. Bolívar Núñez por permitir el acceso a toda la información necesaria para la investigación. Y a mis amigos que de una u otra manera me han apoyado en lo largo de todo esto.

César Adrián



Agradecimientos

Quiero agradecer a Dios, a mi familia, compañeros, profesores y amigos quienes me han ayudado de alguna u otra manera a culminar este gran camino. Mis más sinceros agradecimientos al Ing. Daniel Mogrovejo por su gran ayuda en el desarrollo de este trabajo y por todos los conocimientos transmitidos durante la carrera. Al Ing. Bolívar Núñez por ayudarnos con todas las dudas e información referentes al proyecto.

Cesar Augusto.



1. INTRODUCCIÓN.

La movilidad en el siglo XXI, se convirtió en una de las principales preocupaciones del ciudadano. El modelo de dispersión descontrolado de las ciudades y el fracaso del urbanismo de los últimos años provocaron una situación en la cual el ciudadano medio pasó de utilizar el transporte público a utilizar el transporte vehicular privado, debido que siempre se ha encontrado condicionado a recorrer grandes distancias territoriales. Por ello, la toma de decisiones en el complejo, mundo de la movilidad sostenible ha interrumpido con fuerza en la planificación y en la gestión urbana, hasta tal extremo que las figuras de ordenación de territorio de nuestras ciudades se están reorientando hacia una nueva forma de leer las ciudades desde su componente dinámico, es decir, la movilidad sostenible. (Municipalidad de Cuenca, 2015)

El tranvía tuvo un desarrollo considerable entre el comienzo del siglo XX y el periodo de entreguerras, con la multiplicación de las vías y el incremento del número de pasajeros, convirtiéndose en el principal transporte urbano. El primer tranvía eléctrico fue puesto en servicio por Werner von Siemens en Berlín en 1879, (Kern, 2003) la demostración definitiva de la bondad del sistema vino de la mano de Frank J. Sprague con la electrificación de la red de Tranvías de Richmond (Virginia) con la que demostró, desde 1887, que la tracción eléctrica era la forma mejor de propulsar los tranvías.

Debido a que existe un crecimiento anual del 8% del número de vehículos en circulación en la ciudad de Cuenca 90 000 aproximadamente en 2011 (Vizuet Palacios, Yanzapanta, & Guillermo, 2013) siendo este uno de los factores de congestión vehicular y contaminación ambiental en la ciudad. Como medida de desarrollo se ha iniciado la construcción del proyecto Tranvía Cuatro Ríos de Cuenca, con el fin de solucionar los problemas de congestión vehicular, contaminación ambiental, ruido, etc. El proyecto Tranvía Cuatro Ríos de Cuenca debe cumplir con cuatro funciones principales: eficiencia, articulación, descongestión y cobertura; por este motivo se debe asegurar que el proyecto tenga un correcto desarrollo desde el inicio de construcción de la obra, sin embargo se ha detectado que el proyecto ha comenzado a presentar inconvenientes debido a la aparición de fisuras y grietas en la losa de plataforma tranviaria a lo largo de todo el tramo que se encuentra construido, lo cual significa un riesgo estructural para el proyecto ya que estas son un indicador de falencias en el desarrollo constructivo de la obra.

Las fisuras pueden sólo afectar la apariencia de una estructura, pero también pueden indicar fallas estructurales significativas o falta de durabilidad. Las fisuras pueden representar la totalidad del daño, pero también pueden señalar problemas de mayor magnitud. (Halvorsen et al., 1993). Por este motivo es importante identificar qué factores están provocando la aparición de fisuras a lo largo de la plataforma tranviaria y además identificar que fisuras presenta un riesgo para la funcionabilidad y capacidad para la cual se ha diseñado la plataforma tranviaria. Las fisuras se pueden reparar correctamente si se conoce sus causas y si los procedimientos de reparación

seleccionados son adecuados para dichas causas; caso contrario las reparaciones pueden durar poco (Barlow et al, 1993).

Este trabajo de investigación está destinado a analizar las patologías de las fisuras encontradas en el proyecto sobre la plataforma de rieles, se realiza una evaluación mediante ensayos no destructivos: pruebas de ultrasonido y esclerometría, también la modelación de la plataforma de rieles bajo la acción de cargas considerando dos casos: plataforma sin fisuración y plataforma con fisuración, se establecen posibles causas del problema, y finalmente se proponen alternativas de solución al problema. Con el análisis de patologías de fisuras se podrá comprender el grado de afectación que ha sufrido la estructura y así llegar a un diagnóstico del problema. Sólo a partir de ahí, puede plantearse una alternativa adecuada y en su caso, las medidas de prevención adecuadas para evitar que el daño se repita.

Con los resultados obtenidos se podrá realizar un diagnóstico para determinar la reparación de posible, y tratar de eliminar las causas de origen para evitar futuras apariciones.

Un análisis completo debe abarcar tanto la disposición actual como las evoluciones que se han ido produciendo en el tiempo. En las primeras fases de estudio se deberá de recabar toda la información posible acerca del proyecto. Información en cuanto al terreno sobre el cual se asienta el proyecto y las características geotécnicas del terreno, planos del proyecto (tanto básico como de ejecución), antiguos usos del terreno en el cual se localiza el proyecto, visitas en campo, análisis de probetas de hormigón (capacidad y resistencia), compatibilidad de los aditivos. Se hace una inspección visual de las fisuras, debiendo describir tantas fisuras como se encuentren. Finalmente, debemos disponer de fotos de los daños para su consulta y análisis. Se ha de realizar una descripción lo más detallada posible, en la que se determine tanto los elementos afectados como sus características en el momento de la toma de datos. Las características a destacar de las fisuras deben hacerse con el mayor grado de exactitud posible, definiendo su apertura y si la apertura es uniforme, si se trata de una grieta lisa u ondulada, continua o discontinua, si existen indicios de movimiento a ambos lados de la grieta, etc. (SMTC ARTELIA, 2016)

1.1. Antecedentes.

El proyecto tranvía cuatro ríos de Cuenca tuvo ciertos cambios en su diseño inicial así como algunas consideraciones estructurales que fueron modificadas. Las losas que conforman la plataforma tranviaria tenían refuerzo longitudinal a lo largo de todo el proyecto, este refuerzo se consideró como innecesario justificando que los rieles cumplirían la misma función. Además en un inicio no se realizaron juntas sobre las primeras losas construidas, lo cual origino la aparición de las primeras fisuras. Después de la realización de las juntas en cada losa, comenzaron la aparición de fisuras a lo largo del proyecto.



1.2. Justificación.

El tema de las fisuras en la plataforma tranviaria es un tema de preocupación de los responsables de la ejecución y fiscalización de la obra. Por la falta de experiencia por ser la primera vez que se construye un tranvía en Cuenca, se desconoce el grado de afectación de dichas fisuras en la plataforma, y se teme que estas puedan afectar en un futuro al funcionamiento del tranvía. De aquí el interés del estudio de dicha patología en la plataforma del tranvía.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Análisis de patologías sobre la plataforma de rieles mediante pruebas no destructivas y evaluación de su comportamiento mediante modelación.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Realizar el levantamiento de fisuras en la vía de depósito (Avenida México).
- Identificar los factores que provocaron las fisuras.
- Realizar pruebas no destructivas sobre la plataforma de rieles.
- Modelación de la plataforma de rieles con afectación y sin afectación de las fisuras.
- Establecer las posibles causas del problema.
- Proponer alternativas de solución al problema.

2. MARCO TEORICO.

2.1. Ingeniería forense

La ingeniería técnica forense es una ciencia que estudia las causas físicas o técnicas de accidentes asociados a comportamientos anómalos que provocan una situación no deseada. La ingeniería técnica forense trata de buscar el origen de las causas de la situación analizada, proporciona medidas adecuadas de corrección y medidas de prevención para evitar que la situación se repita.

La ingeniería forense realiza su evaluación mediante ensayos destructivos, semi-destructivos y no destructivos. El presente estudio está enfocado a la aplicación de ensayos no destructivos, ya que se desea tener un diagnostico preliminar de la situación actual del proyecto. Los ensayos considerados en el estudio son: Evaluación visual, pruebas de ultrasonido, esclerometría y profundidad de carbonatación.

2.2. Evaluación Visual

La caracterización de patologías en el hormigón mediante la evaluación visual es el sistema más antiguo y extendido, se basa en la evaluación de las situaciones capaces de provocar daños o patologías en el hormigón (Porto Quintian, 2005):

- Daños por agentes exteriores.
 - Ataque físico: erosión y heladas.
 - Ataque químico: ácidos, sulfatos, reacción de los álcalis, etc.
 - Corrosión de las armaduras: carbonatación y ataque de los cloruros.
- Daños intrínsecos del propio hormigón.
 - No estructurales: asientos plásticos, retracciones, contracciones, etc.
 - Estructurales: compresión, tracción, flexión, cortante, rasante, torsión, punzonamiento.
- Daños causados por acciones extraordinarias.
 - Fuego.
 - Sismo.
 - Impactos.
 - Suelos expansivos.
 - Asientos del terreno.
 - Empujes del terreno.
 - Otras situaciones.

La evaluación visual es un método de ensayo no destructivo el cual es recomendable aplicar en discontinuidades de superficie, fisuras, porosidad, alineaciones, tamaños o cantidades incorrectas. Al momento de realizar este método se recomienda: llevar

un registro fotográfico, mediciones de discontinuidades visibles en las superficies y documentación de deterioros. (Mogrovejo C., 2017)

2.2.1. Alcances:

- Se puede realizar solo de manera superficial
- Es variable y de precisión pobre
- Cansado
- Sujeto a distracciones
- Necesita buena iluminación

Pero a pesar de las limitaciones que presenta debe ser el primer método a aplicar, porque es barato, rápido, simple y ayuda a eliminar la necesidad de la utilización de otros ensayos no destructivos.

2.3. Pruebas de Ultrasonido

Cuando se tienen estructuras afectadas por esfuerzos o ataques de elementos agresivos al hormigón, y las estructuras pierden su calidad. Se realizan estas pruebas para tener un diagnostico preliminar del estado de la estructura.

La inspección por ultrasonido es un método no destructivo en el cual un haz o un conjunto de ondas de alta frecuencia son introducidos en los materiales para la detección de fallas en la superficie y sub-superficie (Izcally, 2010).

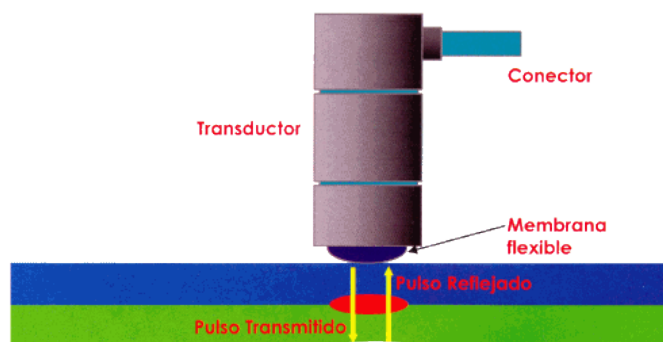


Figura 1. Esquema del proceso de Ultrasonido [Fuente:(Izcally, 2010)]

El equipo posee transductores que marcan el tiempo de propagación de una onda a través del hormigón. Mediante mediciones de la velocidad ultrasónica esta prueba permite determinar el grado de homogeneidad, la presencia de fisuras, los huecos, cambios en el hormigón debido al fuego y ataques bioquímico, así como también la calidad del hormigón (Monroy Martin, 2007).

En efecto la existencia de defectos como son las grietas, fisuras o cavidades pueden detectarse midiendo el tiempo de propagación de la onda cuando los transductores están colocados de tal forma que la trayectoria pasa por el defecto (García Medina, 2013).



Figura 2. Equipo utilizado para las pruebas de ultrasonido

En la norma ASTM C- 597 se encuentran las recomendaciones para el uso del método de velocidad de pulso de ultrasonido en el concreto.

Al realizar las pruebas mediante el equipo de ultrasonido, se debe tener presente que mientras mayor sea el número de elementos ensayados se podrá tener una mejor interpretación de la calidad del hormigón, la selección de los puntos deben hacerse de manera aleatoria. (Monroy Martin, 2007).

2.3.1. Alcances:

- Los métodos ultrasónicos son afectados por algunos factores, entre los que se pueden mencionar los siguientes (Pellicer Ilopis, 2014):
- Si el hormigón presenta un contenido de humedad mayor al normal, este afectará la velocidad de propagación del sonido.
- Al momento de realizar las pruebas de ultrasonido se deben evitar los metales ya que producen irregularidades que afectan a los resultados obtenidos.
- Se debe tener en cuenta que no es fácil determinar una relación entre la resistencia del hormigón y el pulso ultrasónico.
- En cuanto a la temperatura, no se produce ningún efecto significativo en la velocidad de pulso para valores de 5°C a 30°C, a excepción de temperaturas extremas.

2.3.2. Utilización:

Se debe colocar entre la superficie a ensayar y los transductores vaselina, con el fin de asegurar un buen acoplamiento de los transductores en la superficie. Al

colocar los transductores sobre la superficie se deben tener las siguientes consideraciones (ASTM C 597, 2010):

- No mover los transductores para evitar lecturas erróneas.
- Mantener fijos los transductores hasta que la lectura sea determinada.
- Si la superficie presenta algún tipo de acabado (yeso, pintura, cemento, etc.) este se debe quitar para evitar resultados erróneos, por la separación entre los transductores y el elemento.
- Si la superficie es rugosa es necesario pulir, para evitar que los transductores obtenga una señal incorrecta.

Una vez seleccionado el elemento que se va a ensayar, se deben tomar tres lecturas como mínimo, registrando el tiempo de propagación de la onda y la distancia entre transductores; la distancia entre transductores no debe ser mayor a 40 centímetros y estas deben ser lo más constantes posibles, para asegurar que las lecturas sean análogas.

Una vez que la onda se transmite a través del elemento, es recibida por el transductor receptor y la energía mecánica de la onda es transformada en pulso electrónico. De esta manera se obtiene el tiempo de propagación de la onda en el elemento y la distancia entre transductores; lo cual nos permite obtener la velocidad de pulso. (Pellicer Ilopis, 2014)

Una vez determinada la velocidad de pulso, se debe comparar con ciertos criterios de clasificación: según Leslie y Cheesman; según Agraval, etc. Que son criterios existentes que permiten determinar el estado del elemento ensayado.

2.3.3. Opciones para instalar los transductores en la superficie de prueba

El método de puede aplicarse en diferentes configuraciones o esquemas de medición (Figura 3: a. transmisión directa; b. transmisión semidirecta; c. transmisión indirecta). En el primer caso intervienen ondas de cuerpo, mientras que en los otros dos intervienen tanto estas como las ondas superficiales. (Fransqui García, 2011).

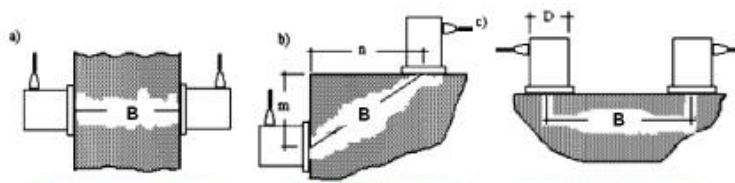


Figura 3 Modos de configuración para realizar las pruebas de ultrasonido.[Fuente (Fransqui García, 2011)]

Transmisión directa: Esta transmisión provee una máxima sensibilidad y una longitud de trayectoria bien definida.

Trasmisión semidirecta: Esta transmisión provee una sensibilidad aceptable y debe considerarse que la longitud de trayectoria será diagonal (Aplicando el teorema de Pitágoras).

Trasmisión indirecta: Esta transmisión es menos satisfactoria ya que provee una sensibilidad menor con respecto a las otras opciones de transmisión y además la longitud de trayectoria esta menos definida. En este tipo de transmisión no se puede tomar la longitud de trayectoria de centro a centro de transductor para determinar la velocidad de pulso. Por lo cual para corregir este tipo de transmisión se debe realizar lo siguiente (Monroy Martin, 2007):

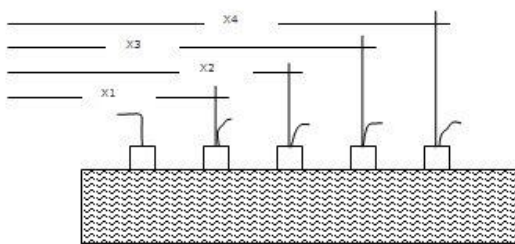


Figura 4 Método para determinar la distancia de trayectoria con la configuración indirecta.
Fuente [(Monroy Martin, 2007)]

1. Se debe colocar el transmisor en un punto elegido en la superficie y el receptor en puntos sucesivos a lo largo de una misma línea.
2. Se determina la distancia centro a centro para cada punto con su respectivo tiempo de propagación.
3. Finalmente se determina la velocidad promedio del pulso en la superficie, como el inverso de la pendiente de la línea recta obtenida entre dos puntos de la gráfica de distancia vs tiempo (Figura 5).

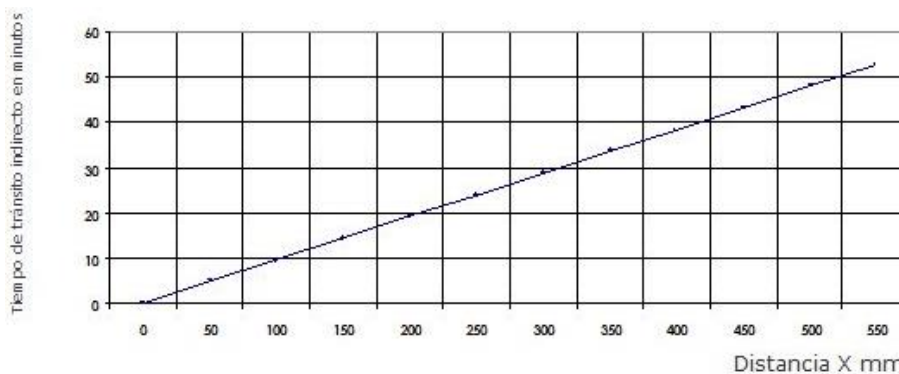


Figura 5 Método para obtener distancia de trayectoria con trasmisión indirecta. Fuente [(Monroy Martin, 2007)]

$$Pend = \frac{t2 - t1}{x2 - x1}$$

$$V = \frac{1}{Pend}$$
$$V = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$

Dónde:

X: Distancia centro a centro de transductor (mm).

t: Lectura de tiempo (microseg).

Al momento de aplicar el método indirecto para obtener el valor de la velocidad de pulso se debe tener presente que este valor es menor comparado al aplicar el método directo, por lo cual debe ser corregido con un factor de corrección. (Monroy Martin, 2007).

$$V_c = 1.05 V_i$$

Dónde:

V_c: Velocidad de pulso corregida.

V_i: Velocidad de pulso aplicando el método indirecto.

Si los puntos de la gráfica distancia vs tiempo no están en línea recta (Figura 6), es decir, se genera un cambio de pendiente en la gráfica, esto quiere decir que el hormigón presenta fisuras en la línea sobre la cual se realiza la prueba o la calidad del hormigón es variable que podría ser producto del daño por helada, fuego, ataque de sulfato, etc. Se puede calcular el espesor de la capa de hormigón afectada mediante:

$$T = \left(\frac{x_0}{2}\right) * \left(\frac{V_s - V_d}{V_s + V_d}\right)^{0.5}$$

Dónde:

T: Espesor de la capa de hormigón afectada

X₀: Distancia en donde ocurre el cambio de pendiente

V_d: Velocidad de pulso en hormigón dañado

V_s: Velocidad de pulso en hormigón no dañado

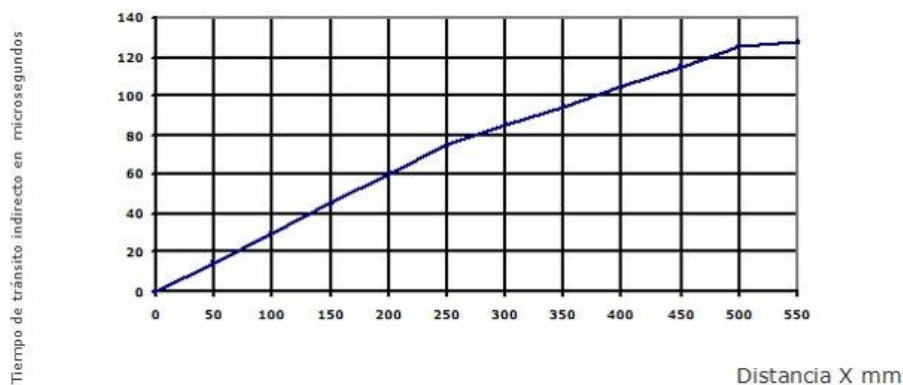


Figura 6 Distancia vs Tiempo con cambios de pendiente. Fuente [(Monroy Martin, 2007)]

Se deben tener en cuenta ciertas consideraciones con respecto a la condiciones de prueba (Monroy Martin, 2007):

- La longitud de trayectoria es insignificante cuando:
 - Es mayor que 100 mm para un agregado de 20mm.
 - Es mayor que 150 mm para un agregado de 40 mm.
- La velocidad de pulso no se ve afectada al hacer mediciones en dos dimensiones diferentes del elemento, siempre y cuando no se varíe el ángulo recto entre ellos.
- Se debe evitar realizar las pruebas ultrasónicas cerca de barras de acero, caso contrario se deberán corregir los valores obtenidos mediante factores de ajuste.
- La velocidad aumenta si el contenido de humedad del hormigón es mayor, por lo cual al realizar una prueba sobre un hormigón de mala calidad con un alto contenido de humedad se puede obtener como resultado de las pruebas un hormigón de buena calidad.

2.3.4. Calibración del Equipo

El equipo posee una barra de calibración la cual indica el tiempo de propagación de pulso en esta barra. Para calibrar el equipo se realiza lo siguiente (Monroy Martin, 2007):

1. Colocar los transductores en los extremos de la barra calibradora
2. Presionar el botón de ajuste
3. Igualar a lectura de la barra calibradora

Es recomendable calibrar el equipo antes de iniciar las mediciones y cada vez que se realice una hora de uso del equipo.



Figura 7. Barra de calibración de equipo de ultrasonido

2.3.5. Registro e interpretación de datos:

Se recomienda utilizar una libreta de registro y opcional un croquis de los puntos que se van a muestrear. En la libreta se registra: la distancia entre transductores, el tiempo de propagación y tipo de lectura para cada elemento ensayado, ubicación de cada elemento y de ser posible temperatura ambiente y humedad.

Una vez recopilados los datos se debe obtener la velocidad de pulso del elemento mediante la siguiente expresión (Pellicer Ilopis, 2014):

$$\text{Velocidad de Pulso} \left(\frac{\text{km}}{\text{seg}} \right) = \frac{\text{distancia entre transductores (cm)} * 10}{\text{lectura de tiempo de propagación (microseg)}}$$

La velocidad de pulso obtenida es una velocidad promedio de mínimo tres lecturas obtenidas. Una vez determinada la velocidad de pulso se puede determinar la calidad del elemento, mediante los criterios de calidad que se muestran a continuación:

Clasificación de la calidad del hormigón por medio de la velocidad de onda según Leslie y Cheesman.

Velocidad de la onda longitudinal (m/seg)	Condición del hormigón
Más de 4570	Excelente
De 3050 a 4570	Buena
De 3050 a 3650	Regular a dudosa
De 2130 a 3050	Pobre
Menos de 2130	Muy pobre

Tabla 1. Clasificación según Leslie y Cheesman. Fuente [(Solís Carcaño, Moreno, & Castillo Pak, 2004)]

**Evaluación la calidad mediante la velocidad de pulso según
Agraval y otros.**

Velocidad de pulso (m/seg)	Condición del hormigón
Más de 3000	Buena
De 2500 a 3000	Regular
Menos de 2130	Pobre

Tabla 2. Clasificación según Agraval. Fuente [(Solís Carcaño et al., 2004)]

Velocidad mínima de pulso en estructuras típicas.

Tipo de obra	Velocidad mínima de pulso para su aceptación (m/seg)
Selecciones T de hormigón reforzado	4570
Unidades de anclaje de hormigón reforzado	4360
Marcos de edificios de hormigón reforzado	4110
Losas de entre piso	4720

Tabla 3. Velocidad mínima en estructuras típicas. Fuente [(Solís Carcaño et al., 2004)]

**2.3.6. Determinación de profundidad e inclinación de fisuras mediante
pruebas de ultrasonido:**

Cuando hay una fisura en el hormigón, el pulso ultrasónico nos permitirá determinar su profundidad e inclinación, se debe procurar colocar los transductores en la parte más gruesa de la fisura. (Monroy Martin, 2007).

Profundidad de fisuras:

1. Colocar los transductores a una distancia x de la fisura, uno a cada lado
2. Colocar los transductores a una distancia que sea el doble de la anterior, y realizar una nueva medición

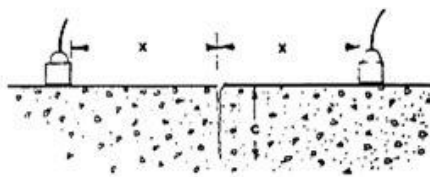


Figura 8. Posición de transductores para determinar la profundidad de una fisura [Fuente: (García Medina, 2013)]

3. Cálculo de la profundidad de la fisura mediante la siguiente ecuación

$$C = x \left(\frac{4(t_1^2 + t_2^2)}{t_2^2 - t_1^2} \right)^{0.5}$$

Dónde:

C: Profundidad de la grieta (mm).

X: Distancia inicial (mm).

t1: Tiempo de la distancia inicial x (microseg).

t2: Tiempo del doble de la distancia (microseg).

Inclinación de fisuras:

1. Colocar los transductores a cada lado de la fisura, y tomar una primera lectura.
2. Mover uno de los transductores de manera que este se aleje de la fisura, y tomar una nueva lectura.

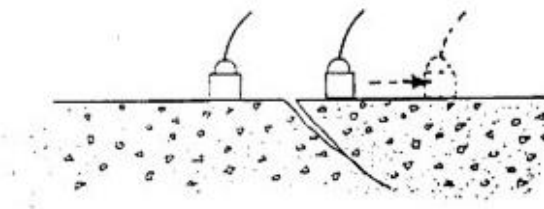


Figura 9. Posición de los transductores para determinar la inclinación de una fisura [Fuente: (García Medina, 2013)]

3. Comparar las lecturas obtenidas, si la segunda lectura del tiempo de propagación disminuye, nos indica que la fisura presenta inclinación hacia ese lado

2.4. Esclerometría

La técnica de la medición esclerométrica está basada en un martillo de rebote, también llamado martillo Schmidt, el que tiene como principio la relación que existe entre la dureza de una superficie y la energía recuperada en el rebote que se genera sobre esta superficie. (Badilla Eyherregaray, 2014)

Este procedimiento es útil para determinar la uniformidad del concreto en sitio, delinear regiones en una estructura de una calidad menor o con el concreto deteriorado, y estimar la resistencia del sitio. La norma ASTM C 805 indica todas las consideraciones y cuidados que se deben tener al momento de manejar el equipo.

Es un ensayo no destructivo que permite estimar la dureza superficial del hormigón, en este tipo de ensayos se utiliza un Esclerómetro tipo Silver Schmidt (), el cual consiste en un vástago, y en este se desliza una masa que es puesta en movimiento por un resorte. Esta masa golpea contra un retén del vástago, con una cierta energía que se transmite del hormigón, el cual sufre una deformación elastoplástica. Finalmente una vez que el hormigón ha recuperado su deformación elástica, hace rebotar la masa y esta arrastra una aguja sobre una escala graduada, donde se lee el Índice de Rebote. (Ortega & Señas, 2007).



Figura 10. Equipo utilizado para realizar las pruebas con esclerómetro

2.4.1. Alcances:

Este ensayo se ve afectado por una serie de factores que se detallan a continuación, se debe tener en cuenta que a pesar de que el ensayo es fácil de ejecutar, existen muchos factores que influyen en los resultados obtenidos. (Guillermo Realpe, 2016)

- En mezclas de hormigón con diferente rigidez pero que con la misma resistencia, pueden presentar un rebote diferente. Y de igual manera si se tiene mezclas de hormigón de diferente resistencia se puede obtener un mismo rebote, esto puede ocurrir cuando la rigidez del hormigón de baja resistencia es mayor que la rigidez del hormigón de mayor resistencia.
- El número de rebote se ve afectado por: superficies carbonatadas, superficies secas (cuando existe humedad mayor en el interior), condiciones de curado.
- El ensayo depende de las condiciones de donde se lo realice, es decir, si este impacta sobre partículas vacías, duras o suaves.
- Además el rebote se ve afectado por la orientación del equipo
- Este método de ensayo no se puede usar como base de aceptación o rechazo del hormigón, ya que solo se puede obtener una estimación de la resistencia del hormigón.

2.4.2. Utilización:

Al momento de realizar las pruebas, se debe considerar que los puntos no pueden ser tomados a una distancia menor de 25mm entre ellos. Además, se debe inspeccionar la superficie una vez realizado el impacto, ya que si la superficie ha sido machacada o rota la lectura debe ser tomada nuevamente. Al momento de realizar el ensayo se requiere de un mínimo de 6 puntos de ser posible se debe adjuntar un plano donde se muestren los puntos donde se realizó el ensayo. (ASTM C 805, 2013)

1. Antes de realizar la prueba se debe preparar la superficie, si dejar que está presente alguna rugosidad dejándola lisa. Esto se logra mediante una piedra abrasiva-carburo de silicio la cual viene con el equipo
2. Se sostiene el esclerómetro de manera perpendicular sobre la superficie que se va a ensayar
3. Se empuja de manera gradual el instrumento hacia la superficie, hasta que el martillo impacte
4. Una vez que este impacte se habrá obtenido la lectura del punto que se ha ensayado.

2.4.3. Factor de corrección del índice esclerométrico

La metodología descrita a continuación son fragmentos del artículo *“Curvas de calibración esclerométrica para hormigones convencionales de las Hormigoneras más Importantes del Austro”* (Miguitama F, Segarra V, Fierro G, & Mogrovejo C, 2017)

2.4.3.1. Metodología de la obtención de curvas de calibración.

Las pruebas esclerométricas se desarrollaron solo para probetas de hormigones de 210, 240 y 300 kg/cm². El estudio que se realizó para obtener la resistencia real y el índice de esclerometría para cada uno de los hormigones presentó resultados confiables. (Miguitama F et al., 2017)

Mediante el esclerómetro se obtiene: Q (índice esclerométrico), y un $f'c$ (resistencia a compresión) relacionado a Q. El índice esclerométrico Q es el promedio de los impactos realizados, los cuales tiene una tolerancia de 6 unidades. (ASTM C 805, 2013)

Además, para garantizar la confiabilidad de los resultados se realizaron dos tipos de pruebas: considerando una condición libre y una condición fija. Se utilizaron las normas (ASTM C 805, 2013)(NTE INEN 3121, 2016) para las pruebas de esclerometría.

En base a (proceq, 2016) se obtuvieron las curvas esclerométricas para cada $f'c$ aplicando regresión exponencial entre Q y $f'c$ real en base a ensayos a compresión.

2.4.3.2. Resultados.

No se consideraron un total de 47 probetas de las 319 ensayadas, debido a que no cumplían con la norma ASTM C805.

De las 319 probetas cilíndricas ensayadas, se descartaron 47 probetas ya que no cumplían con lo estipulado por la normativa ASTM C805. Debido a que los valores de Q de las probetas no se encontraban dentro del rango de valores típicos de resistencia $f'c$ (Tabla 4), se aplicó una desviación estándar de 4 y 3 para las hormigoneras 1 y 2 respectivamente.

Días Tipo de hormigón Q (Índice esclerométrico) $f'c$ (Kg/cm²)

3	210	21-26	60-85
	240	23-27	70-90
	300	27-29	90-100
7	210	26-30	85-105
	240	26-33	85-130
	300	30-37	105-165
28	210	28-32	95-120
	240	30-35	105-150
	300	36-40	160-195

Tabla 4. Valores de $f'c$ en función del Índice Esclerométrico Q . Fuente :[(Miguitama F et al., 2017)]

2.4.3.3. Curvas de Calibración:

Se determinaron arreglos exponenciales para la hormigonera 1 y 2 en base a la correlación entre el índice esclerométrico (Q) y la resistencia a compresión ($f'c$) (proceq, 2016), donde Q será la variable independiente y $f'c$ dependerá de Q . La Tabla 5 muestra los resultados obtenidos:

Análisis de varianza para hormigoneras 1 y 2

	Coefficientes	Error típico	Estadístico (t)	Probabilidad	F	Valor crítico de F
Hormigonera 1	Ln (α): 1.39	0.075	18.509	7.13E-32	463.081	3.46E-38
	β: 0.05	0.0024	21.519	3.46E-38		
Hormigonera 2	Ln (α): 1.75	0.0672	26.034	1.13E-54	496.386	6.78E-46
	β: 0.05	0.0022	22.28	6.78E-46		

Tabla 5. Resultados del Ajuste Exponencial para las Hormigoneras 1 y 2. Fuente :[(Miguitama F et al., 2017)]

En la tabla anterior se puede ver que el modelo esta correcto y sirven para determinación de la resistencia f'_c , ya que los valores de F crítico y Probabilidad son menores a 0.05 (Longnecker & Lyman Ott, 2010). Finalmente se tiene que las ecuaciones para determinar las curvas de calibración para cada hormigonera son:

$$H1: y = 3.6817 e^{0,0539 x}$$

$$H2: y = 5.6157 e^{0,0486 x}$$

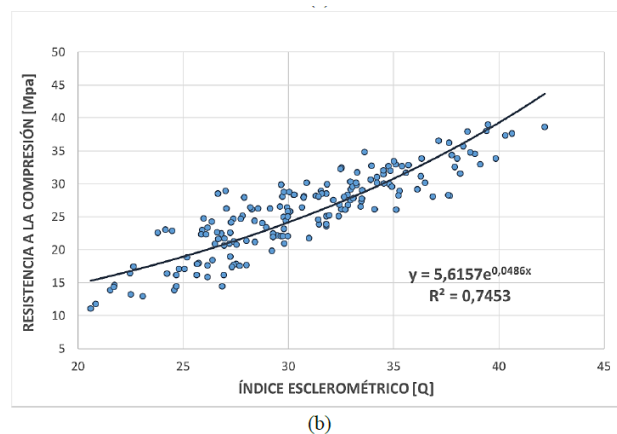
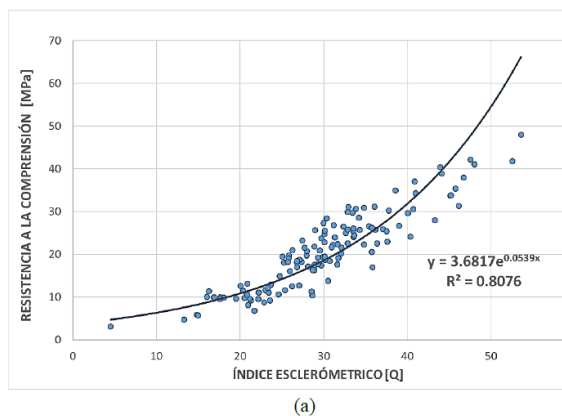
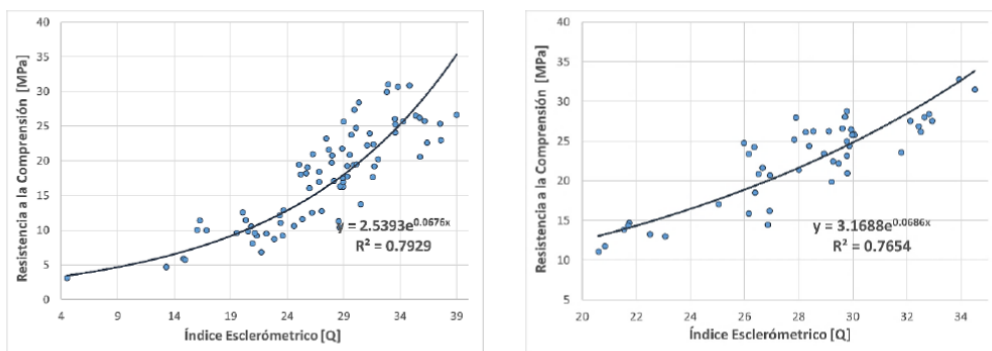
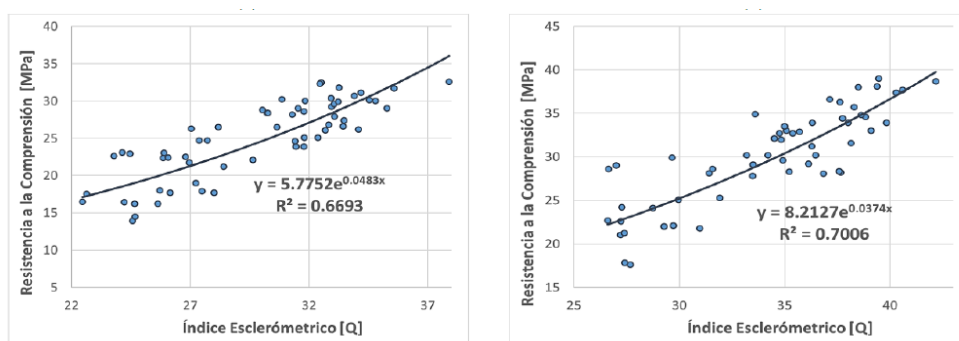


Figura 11. Curvas de Calibración Esclerométrica. (a) Hormigonera 1 (b) Hormigonera 2. Fuente :[(Miguitama F et al., 2017)]

En las Figura 12 y Figura 13, se muestran las curvas de calibración obtenidos para distintos tipos de resistencia para cada hormigonera.



(a) (b)
Figura 12. Curvas de Calibración Esclerométrica según Tipo de Hormigón. (a) Tipo: H°240 kg/cm² / Hormigonera 1; (b) Tipo: H°210 kg/cm² / Hormigonera 2. Fuente :[(Miguitama F et al., 2017)]



(c) (d)
Figura 13. Curvas de Calibración Esclerométrica según Tipo de Hormigón. (c) Tipo: H°240 kg/cm² / Hormigonera 2; (d) Tipo: H°300 kg/cm² / Hormigonera 2. Fuente :[(Miguitama F et al., 2017)]

2.5. Profundidad de carbonatación.

La carbonatación es la reacción química del CO₂ existente en el aire con los componentes hidratados del cemento, esta reacción disminuye el pH de la solución de los poros del hormigón desde valores altos de 12 a bajos de 9 y la capa de óxido pasivo que rodea al acero puede ser destruida, aumentando el riesgo de corrosión. (Carvajal, Silva, Valiente, & Venegas, 2007).

La carbonatación disminuye el pH del concreto haciendo que se inicie la corrosión en el acero de refuerzo generando grietas y el deterioro del mismo. En el diseño de estructuras de hormigón, la carbonatación es uno de los muchos factores importantes que determinan la vida útil en servicio de una estructura de hormigón armado (Uller et al., 1997). Un hormigón con mayor tiempo de curado se carbonatará más lentamente que un hormigón con un menor tiempo de curado (Song, Kwon, Byun, & Park, 2006). Para determinar la el frente de carbonatación in situ se requiere contar con: Instrumentos de medición: Escala milimétrica o vemier, herramientas para picado del hormigón como piquetas o cinces, material para limpieza

superficial como brochas o trapos y solución indicadora: ácido base fenolftaleína al 1% en solución de alcohol

2.5.1. Procedimiento

Para determinar el frente de carbonatación en una superficie según la norma RILEM, se deben realizar los siguientes pasos:

1. Limpiar el área a realizar el ensayo
2. Picar con un combo y un cincel el área en la que se quiere conocer la baja de pH
3. Aplicar mediante un rociador la solución de fenolftaleína en alcohol al 1%.
4. Medir desde la superficie hasta donde se produce el cambio de color (se mide una profundidad máxima y una mínima)

2.5.2. Velocidad de avance del frente de carbonatación

El frente o profundidad de carbonatación entra en el hormigón de manera paralela a la cara exterior del elemento. Debido a que la distancia a la que avanza el dióxido de carbono (CO_2) es cada vez mayor para interactuar con el frente de carbonatación, la velocidad con lo que esto sucede disminuye. (Rojas Kein, 2006). Existen factores que afectan la velocidad de avance, entre los principales se tiene:

- Concentración de dióxido de carbono
- Tipo de cemento
- Capacidad de absorción del hormigón
- Tipo de curado
- Humedad relativa del aire

La porosidad del hormigón es también un parámetro muy importante, ya que los poros capilares de menor tamaño están generalmente siempre saturados de humedad y por tanto inaccesibles a la carbonatación. Los hormigones porosos se carbonatan a gran velocidad (Song et al., 2006).

2.5.3. Interpretación



Figura 14. Reacción fenolftaleína. Fuente: [(Galán García, 2011)]

En la norma RILEM se indica la interpretación de la tonalidad fucsia, indicando como hormigón en buen estado ($\text{pH} > 10$); si el hormigón rociado es incoloro indica hormigón carbonatado (RILEM, 1988).

2.5.4. Vida remanente

Antes de hablar de vida remanente, es adecuado tener claros los conceptos de: vida útil remanente, proyectada y extendida. Se considera como vida útil proyectada al tiempo estimado para que la estructura cumpla con las necesidades para la cual fue diseñada. La vida útil remanente es el tiempo de vida que le queda a la estructura para dejar de cumplir las funciones para la cual fue diseñada. La vida útil extendida es el tiempo de vida añadido a la estructura por la acción de reparaciones o rehabilitaciones. La Figura 15 muestra un esquema de los tres conceptos. (Traversa, Villagrán, Di Maio, & Zicarelli, 2006)

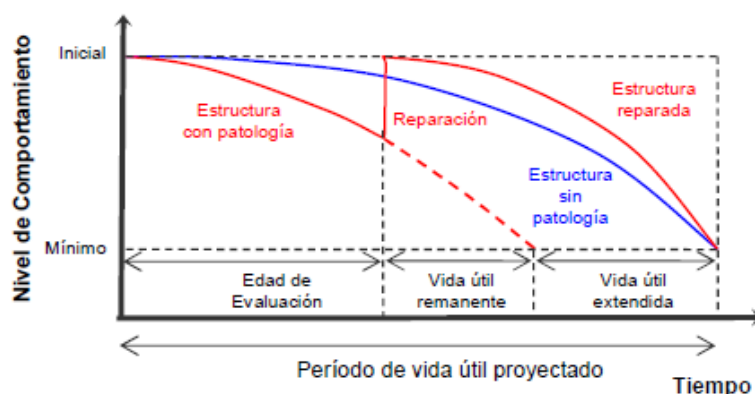


Figura 15. Modelo de vida útil de una estructura. Fuente [(Traversa et al., 2006)]

La vida útil de una estructura respecto a los procesos de deterioro de los materiales se puede estimar mediante un modelo que permita determinar la penetración del frente de carbonatación a medida que pasa el tiempo. Para el cálculo de la profundidad de carbonatación diferentes investigadores han desarrollado modelos que permitan conocer esta afección del hormigón, dentro de los cuales se pueden destacar (Morales Kallina, 2007):

- Método de la raíz cuadrada
- Modelo de Tutti
- Modelo de Baker
- Modelo del CEB

2.5.5. Modelo de la raíz cuadrada del tiempo

Este modelo matemático es el más utilizado para describir de manera simple la velocidad de penetración de carbonatación. La determinación de la penetración de carbonatación sigue una ley exponencial definida por la siguiente ecuación.

$$X = K * (t)^{\frac{1}{2}}$$

Dónde: X: Profundidad de carbonatación [mm]

K: Velocidad de avance del frente de CO₂ [mm/año^{0.5}]

t: Tiempo transcurrido [años]

Donde despejando t, nos queda:

$$t = \left(\frac{X}{K}\right)^2$$

Obteniendo finalmente la vida remanente, la cual está dada por la expresión:

$$t_r = t - (\Delta t)$$

Dónde: tr: Tiempo remanente. [años]

Δt : edad de la estructura (tiempo transcurrido desde el año de construcción hasta el año de evaluación). [años]

Al aplicar este método a las estructuras de hormigón los valores de K, varían entre valores de 2 a 15 mm/año^{0.5} dependiendo de la calidad del hormigón. Los rangos de estos valores se detallan en la tabla siguiente (Andrade, 2002):

K (tasa de deterioro de carbonatación)	Características del hormigón	Calidad del hormigón
2 < K < 6	Elevada compacidad, contenido de cemento > 350 kg/m ³	Buena
6 < K < 9	Compacidad media, contenido de cemento entre ≥ 250 ≤ 350 kg/m ³	Media
K > 9	Poroso, contenido de cemento < 250 kg/m ³ y elevada relación a/c	Mala

Tabla 6. Calidad del hormigón en función de la tasa de deterioro. Fuente: [(Andrade, 2002)]

El valor de K velocidad de avance del frente de carbonatación o tasa de deterioro de carbonatación, es la relación entre la profundidad de carbonatación y la raíz cuadrada de la edad de la estructura.

Del análisis de los resultados se deberá evaluar cuál será el grado de intervención, si se desea volver al estado original o si alcanza con mantener el estado de deterioro, en esos casos el tratamiento y las técnicas a emplear serán diferenciadas. En la Figura 16 se esquematiza la vida útil de una estructura considerando la vida ideal, vida real y formas de restauración o mantenimiento (Tranversa, 2011).

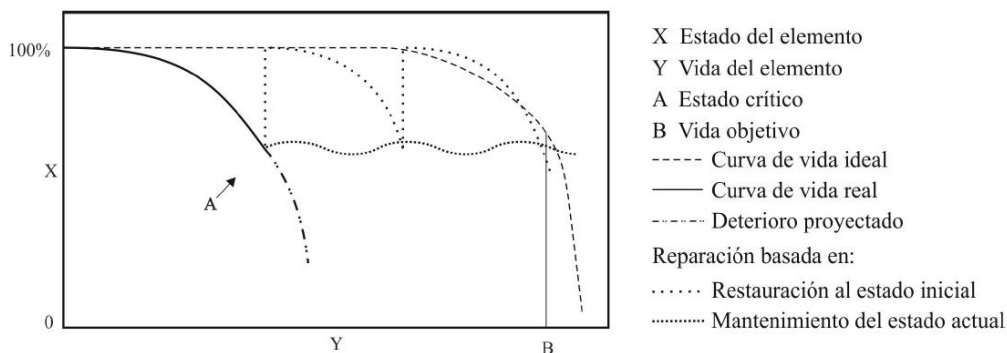


Figura 16. Esquema de vida útil de una estructura. Fuente [(Tranversa, 2011)]

2.5.6. Factores de influencia de la profundidad de carbonatación

Los factores de influencia sirven para afinar los valores de resistencia obtenidos mediante la esclerometría, ya que estos valores suelen verse afectados por la acción del CO₂. La Tabla 7 presenta los factores de castigo en base a la profundidad de carbonatación que exista en la superficie (Fernández, 2013).

Profundidad de carbonatación (cm)	Factor de corrección
0,5	0,97
1	0,94
1,5	0,9
2	0,87
2,5	0,84
3	0,8
3,5	0,78
4	0,74
4,5	0,72
5	0,68
5,5	0,65
6 o mayor	0,62

Tabla 7. Factores de corrección, profundidad de carbonatación. Fuente [(Fernández, 2013)]

2.6. Modelación

ANSYS está dividido en tres herramientas principales llamados módulos: pre-procesador (creación de geometría y mallado), procesador y post-procesador. Tanto el pre-procesador como el post-procesador están provistos de una interfaz gráfica. Este procesador de elementos finitos para la solución de problemas mecánicos incluye: análisis de estructuras dinámicas y estáticas (ambas para problemas lineales y no lineales). (“Sitio oficial ANSYS,” 2017)

2.6.1. Realización de cálculo

El procedimiento se puede simplificar en: (Chaves, 2011)

Pre-proceso

- Determinación del tipo de modelo, construcción de la geometría del problema.
- Definición del tipo de materiales que se consideran en el problema. Verificar que todos los elementos queden definidos por un material.
- Generación del mallado de manera automática o manual, en base a una aproximación la cual puede ser de proximidad o curvatura.

Proceso

- Ubicación de cargas y condiciones de soporte.
- Solución del modelo.

Post-proceso

- Representación de resultados.

2.6.2. Alcances

1. Los resultados obtenidos mediante ANSYS dependen de la cantidad de elementos considerados
2. Los resultados se ven afectados también por el mallado que se considere, recomendándose así el que mejor se aproxime a la geometría
3. Si se requiere de resultados más precisos se necesita de un mallado más afinado lo que genera mayor gasto computacional
4. Se pueden cometer errores manuales al momento de ingresar las propiedad y condiciones en la cual se desea resolver el problema

3. ALCANCE DE LA EVALUACIÓN

3.1. Ubicación

La plataforma de rieles a evaluar se encuentra ubicada en la Avenida México, entre Avenida de las Américas y Unidad Nacional (tramo del tranvía cochera y patio taller). La construcción de este tramo comenzó en Noviembre del 2013.

La vida útil del proyecto es de 30 años y el tráfico del tranvía proyectado en línea es de 130 pasajeros/día/sentido. La plataforma tranviaria tiene una longitud de 43 744 metros y un ancho promedio de 4.20 metros (considerando los dos sentidos del trayecto) y está conformada por 33 losas. (GME CITA, 2015b).

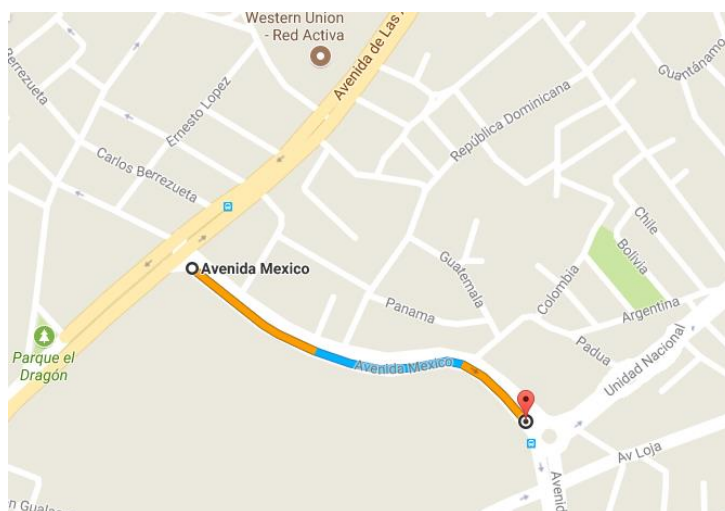


Figura 17 Ubicación tramo cochera y patio taller. Fuente: [<https://www.google.com.ec/maps/>]



Figura 18 Ubicación tramo cochera y patio taller. Fuente: [Unision TV]

La estructura de la vía de hormigón se ha definido según los siguientes criterios principales:

- Las características dimensionales y geométricas del material rodante.
- Las previsiones de tráfico a lo largo de 30 años.
- Las cargas por eje.
- El coeficiente dinámico.
- El dimensionamiento de la carretera.
- Las hipótesis de capacidad de carga del suelo.

3.2. Especificaciones constructivas:

Las estructuras de la vía y los constituyentes se definen en los planos (perfil longitudinal y trazado) y el conjunto de cortes tipo. (GAD, 2016). Existen cinco tipos diferentes de plataformas tranviarias a lo largo de todo el proyecto, las cuales son:

1. Plataforma con revestimiento mineral y debajo tres capas de hormigón (base, fundación y limpieza). Este tipo de plataforma se encuentra en las avenidas Américas y España.

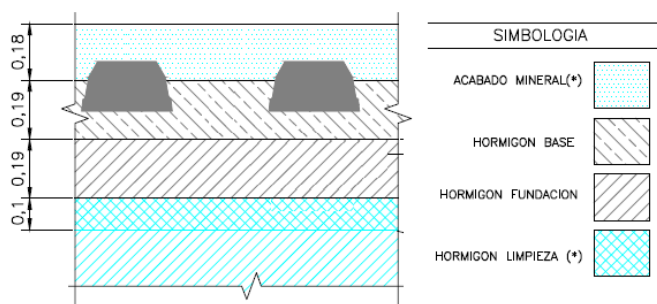


Figura 19. Detalle vía de línea principal y vía de conexión

2. Plataforma con revestimiento de césped y debajo tres capas de hormigón (base, fundación y limpieza). Este tipo de plataforma se encuentra en las avenidas Américas y España.

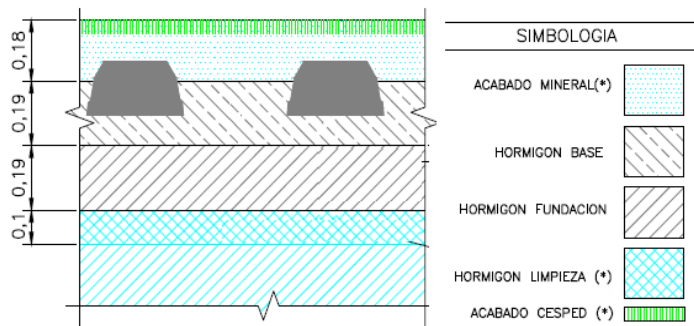


Figura 20. Detalle de vía de línea principal y vía de conexión

3. Plataforma con revestimiento mineral y debajo tres capas de hormigón (base, fundación y limpieza). Este tipo de plataforma se encuentra en la avenida México.

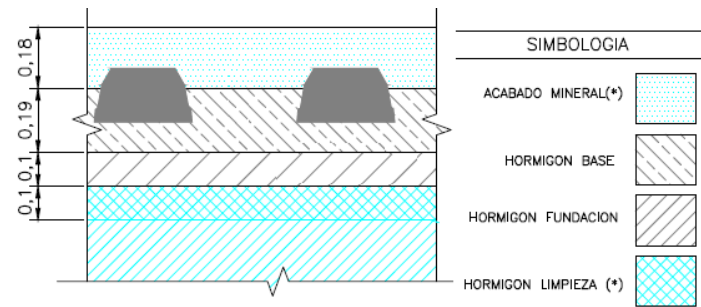


Figura 21. Detalle de vía de depósito - Plataforma exterior

4. Plataforma con revestimiento mineral y debajo dos capas de hormigón (base y losa reforzada). Este tipo de plataforma se encuentra en los edificios de talleres y cocheras.

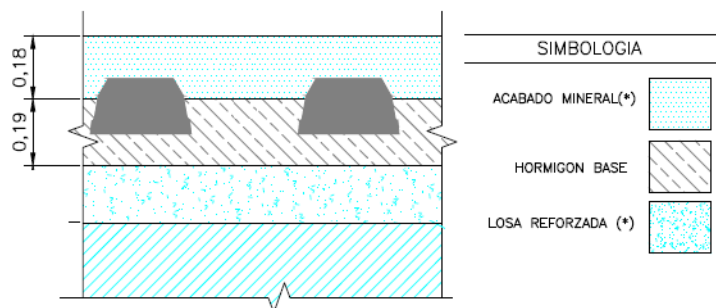


Figura 22. Detalle de vía de depósito - Edificios taller y cocheras

5. Plataforma con revestimiento mineral y debajo tres capas de hormigón (base, fundación y limpieza). Este tipo de plataforma se encuentra en el centro histórico de la ciudad y posee una manta anti vibratoria.

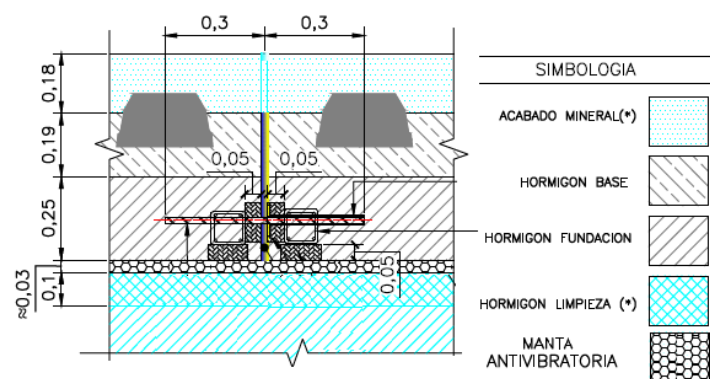


Figura 23. Detalle de vía de línea - Centro histórico

El análisis de patologías será considerado solo sobre la plataforma número 4, ya que sobre esta se han realizado pruebas dinámicas, la cual se encuentra detallada en la Figura 22.

3.3. Elementos que componen la plataforma tranviaria

3.3.1. Hormigón de limpieza

Losa de hormigón que se construye sobre la plataforma de asiento no se considera una losa estructural, esta losa soporta la losa de fundación y la losa de base (las dos losas son de espesor impuesto por el consorcio francés GME CITA), cumple la función de asegurar la altimetría y planimetría de la línea férrea y de toda la plataforma tranviaria, ya que sobre esta se colocan los demás elementos. En la plataforma sobre la cual se lleva el estudio, se tienen las siguientes características:

Características de la losa

Espesor:	10 cm
Ancho:	2.30 m
f'c:	210 kg/cm ²

Tabla 8. Características losa de limpieza

3.3.2. Prismas multitubulares

Los prismas multitubulares son elementos que se construyen con un hormigón simple de baja resistencia, $f'c=140$ kg/cm². La única función que estos desempeñan es la de proteger y posicionar los ductos a través de los cuales se tenderán los cables eléctricos de baja y media tensión, cableado de comunicaciones, semaforización, sensores, etc.

Estos elementos no soportan estructuralmente la plataforma tranviaria, es decir sobre estos elementos no se aplicarán cargas móviles, la única carga que actúa sobre estos es la del bordillo GLO.

3.3.3. Bordillos GLO (Galibo Libre de Obstáculos)

Los bordillos GLO se construyen sobre los prismas multitubulares, tienen la función de definir el galibo libre de obstáculos, es decir, separan la plataforma tranviaria de las vías vehiculares, con la finalidad de permitir la circulación libre del tranvía.

3.3.4. Losa de fundación

Losa de hormigón sin refuerzo que se construye sobre la losa de limpieza, esta si se considera una losa estructural ya que soporta la losa de base, la dimensión de esta losa posee un espesor variable 19cm en la parte de las afueras y 25cm en la parte del centro histórico. . Se encarga de retomar los esfuerzos transmitidos por la vía y transmite las cargas en la plataforma de asiento. (GME CITA, 2015b)

En la plataforma sobre la cual se lleva el estudio, se tienen las siguientes características:

Características de la losa

Espesor:	19cm
Ancho:	2.30 m
f'c:	250 kg/cm ²

Tabla 9. Características losa de fundación

3.3.5. Losa de Base (losa de la vía)

Losa de hormigón sin refuerzo que se construye sobre la losa de fundación, esta si se considera una losa estructural ya que soporta las cargas que transmiten los rieles, una vez colocados y posicionados los durmientes bi-bloque se procede a fundir la losa in situ. Esta sola se encarga de garantizar el mantenimiento de los sistemas de fijación a través de sus anclajes y de transmitir las cargas a la losa de hormigón de fundación inferior. (GME CITA, 2015b)

En la plataforma sobre la cual se lleva el estudio, se tienen las siguientes características:

Características de la losa

Espesor:	19cm
Ancho:	2.30 m
f'c:	300 kg/cm ²

Tabla 10. Características losa de base

La plataforma tranviaria está constituida por elementos de Hormigón sin refuerzo longitudinal, además todos presentan un predominio de su longitud

3.3.6. Plataforma de asiento

La plataforma de asiento está constituida por una capa de terreno natural compactado que posee una resistencia de 50 MPa conforme a la norma francesa NF P 94 117-1. (La retracción es medida por medio de ensayos de placa tornada a cada 200 metros y realizados de manera alternativa todos los 100 metros entre una vía y la otra).

Esta plataforma tiene como función retomar los esfuerzos de compresión (verticales) y cizallamiento (horizontales) y soportar la estructura de la vía. (GME CITA, 2015b)

3.3.7. Propiedades de las durmientes

Las traviesas o durmientes son de hormigón prefabricado bi-bloque de tipo TW 120, se ubican de manera empotrada en la capa de hormigón base con un recubrimiento (lateral, transversal y longitudinal) de 10 cm como mínimo. El durmiente se compone

de dos bloques de hormigón armado unidos por 2 riostras en L (barras de hierro), la fijación del riel a las traviesas se hace mediante fijación elástica. El recubrimiento entre el nivel superior de las riostras de las durmientes y el nivel superior de hormigón de base varía de 5mm a 10mm.

- El travelaje de las durmientes adoptado tanto en alineación como en curva de radio superior a 150m es de 0.75m.
- El travelaje de las durmientes adoptado tanto en alineación como en curva de radio inferior o igual a 150m es de 0.60m.
- El travelaje de las durmientes adoptado en las vías exteriores de patio taller es de 0.90m.(GME CITA, 2016)

3.3.8. Propiedades de los rieles

Son los elementos estructurales cuya longitud es de 18 metros encargados de la transmisión de carga aplicada a nivel de las ruedas del material rodante, la unión de los rieles se realiza mediante el proceso de soldadura por aluminotermia. La realización de soldaduras de unión entre rieles de dos grados diferentes se realiza siempre considerando el grado de riel el más elevado (330V). El Sistema de fijación del riel (anclaje + almohadilla + fijación elástica) está compuesto de una almohadilla elástica y de las fijaciones elásticas del riel. La almohadilla se coloca encima de los bloques de traviesa, a su vez hundidos dentro del hormigón de la vía. Este sistema de fijación del riel asegura la transmisión de los esfuerzos ya que fija los rieles en la vía hormigonada (GME CITA, 2015b).

El rodamiento se efectúa por medio de dos rieles de garganta, soldados en su extremidad, en donde el riel de garganta se fija sobre una placa metálica mediante fijaciones independientes del anclaje. (GME CITA, 2016).

- Se utilizan rieles de grado R200 a lo largo de las líneas y en curvas con $R > 80$ metros
- Se utilizan rieles de grado 330V en curvas con $R \leq 80$ metros (el riel de 330v permite reducir el desgaste con respecto a un riel de R200)

En la Figura 24 y Tabla 11 Información de rieles. Fuente [(GME CITA, 2015b)]se muestran información y dimensiones de los rieles.

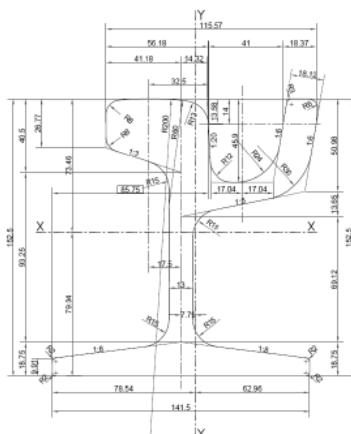


Figura 24. Dimensiones y forma de Rieles. Fuente/[GME CITA, 2015b)]

Dato	Valor
Superficie de la Seccion	69.11 cm ²
Peso por metro	54.25 kg/m
Momento de inercia (eje x-x)	2 047.4 cm ⁴
Momento de inercia (eje y-y)	732.8 cm ⁴

Tabla 11 Información de rieles. Fuente [(GME CITA, 2015b)]

3.4. Propiedades de juntas

La determinación de las juntas en las capas de fundación y de base se efectúan tomando en cuenta las especificaciones de los proyectos realizados por EGIS RAIL (es un grupo francés de ingeniería que trabaja en las áreas de infraestructura y sistemas de transporte), realizando una adaptación a las condiciones ambientales de Cuenca. (GME CITA, 2015a). Para ver el informe EGIS RAIL revisar ANEXO 1. Nota Técnica juntas en la vía de hormigón

La separación entre losas está asegurada con una junta física que tiene un espesor de 2 cm, de tipo placa de tipo polietileno. Las juntas de la capa de base no son coincidentes con las juntas de la capa de fundación.

3.4.1. Juntas en la capa de fundación

Se han realizado juntas de un tipo:

1. Se han realizado cada 27m de manera transversal y perpendicular a la vía **una junta de corte** de 1/3 del espesor de la capa de fundación y según las recomendaciones del DTU 13.3 y la norma francesa NF P213-2.

3.4.2. Juntas en la capa de base (losa de la vía)

Se han realizado juntas de dos tipos:

1. Se han realizado cada 27m de manera transversal y perpendicular a la vía **una junta física**: con material de un espesor de 2 cm, de tipo placa de tipo polietileno de la altura de la capa de base (puede corresponder por ejemplo a un fin de hormigonado).
2. Se han realizado cada 9m de manera transversal y perpendicular a la vía **una junta de corte**: con un corte de 1/3 del espesor de la capa de base ese corte no se hace debajo de cada riel y según las recomendaciones del DTU 13.3 y la norma francesa NF P213-2.

Las losas que poseen acabado vegetal o mineral solo tendrán juntas al nivel de la capa de base y se protegen poniendo un material de estanqueidad para evitar las infiltraciones en las juntas (La Estanqueidad es la posibilidad de crear una superficie por donde no acceda el agua al interior del material en casos de lluvia).

3.5. Propiedades de hormigones y aditivos

3.5.1. Hormigón de losa de limpieza

Se vierte un hormigón de tipo HE (hormigón de alta resistencia) siguiendo la norma NTE INEN 1762, 2015 (Hormigones. Definición y terminología) con un espesor de 10cm, el cual es apto para soportar las capas superiores. Esta superficie se rastrilla de manera regular con el fin de aumentar las superficies de contacto.

El hormigón tiene una resistencia especificada $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ a los 28 días, el método utilizado para el diseño fue A.C.I 211. La dosificación para 1m^3 de hormigón se muestra en la tabla siguiente:

Dosificación para 1m^3 de hormigón	
Cemento (tipo HE)	318 Kg
Piedra triturada (19mm)	318 Kg
Piedra zarandeada (19mm)	943 Kg
Arena de trituración	0 Kg
Arena natural de Rio	791 Kg
Agua	190 litros
Aditivo en planta (Polyhead R 719)	5.09 Kg
Aditivo en obra (Rheobulid 100)	2.54 Kg

Tabla 12. Dosificación para hormigón de la capa de limpieza. Fuente [(GME CITA, 2015a)] Extracto de ANEXO 3. Diseño de hormigón hidráulico)

3.5.2. Hormigón de losa de fundación

Se vierte un hormigón de tipo HE siguiendo la norma NTE INEN 1855-2, 2015 (Hormigones. Hormigón premezclado. Requisitos) con un espesor de 19cm. Este hormigón no es armado y presenta juntas de losa todos los 27 metros sobre 1/3 de su profundidad y de manera perpendicular al eje de la vía.

El hormigón tiene una resistencia especificada $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$ a los 28 días, el método utilizado para el diseño fue A.C.I 211. La dosificación para 1m^3 de hormigón se muestra en la tabla siguiente:

Dosificación para 1m^3 de hormigón	
Cemento (tipo HE)	328 Kg
Piedra triturada (19mm)	964 Kg
Piedra zarandeada (19mm)	0 Kg
Arena de trituración	0 Kg
Arena natural de Rio	762 Kg
Agua	192 litros
Aditivo en planta (Polyhead R 719)	5.25 Kg
Aditivo en obra (Rheobulid 100)	2.62 Kg

Tabla 13. Dosificación para hormigón de la capa de fundación (losa flotante). Fuente [(GME CITA, 2015a)] Extracto de ANEXO 3. Diseño de hormigón hidráulico)

3.5.3. Hormigón de losa de base

Se vierte un hormigón del tipo HE siguiendo la norma (NTE INEN 1855-2, 2015)(Hormigones. Hormigón premezclado. Requisitos) con un espesor de 19cm. Dentro del espesor de este hormigón se colocan los aparatos de la vía (drenaje y aparatos de motorización). Este hormigón no es armado y se han realizado juntas de losa cada 27 metros y cada 9 metros, físicas y de corte respectivamente.

El hormigón tiene una resistencia especificada $f'c = 300 \text{ Kg/cm}^2$ a los 28 días, el método utilizado para el diseño fue A.C.I 211. La dosificación para 1m^3 de hormigón se muestra en la tabla siguiente:

Dosificación para 1m^3 de hormigón	
Cemento (tipo HE)	350 Kg
Piedra triturada (19mm)	1010 Kg
Piedra zarandeada (19mm)	0 Kg
Arena de trituración	0 Kg
Arena natural de Rio	695 Kg
Agua	193 litros
Aditivo en planta (Polyhead R 719)	5.60 Kg
Aditivo en obra (Rheobulid 100)	2.80 Kg

Tabla 14. Dosificación para hormigón de la capa base (losa de la vía). Fuente [(GME CITA, 2015a)]. Extracto de ANEXO 3. Diseño de hormigón hidráulico)

Para ver las especificaciones técnicas del cemento de alta resistencia Tipo HE ver ANEXO 2. Hoja técnica – Cemento de alta resistencia inicial tipo HE y Diseño del hormigón de cada capa ver ANEXO 3. Diseño de hormigón hidráulico

Los áridos deben cumplir con la norma NTE INEN 872 (Áridos para hormigón, requisitos), y en el caso de los hormigones livianos deberán cumplir con la norma ASTM C 330 (Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete). Los áridos podrán ser áridos rodados o triturados de ríos como de áridos triturados de canteras. (GME CITA, 2015a). Para ver la naturaleza de los áridos del hormigón y granulometría de los áridos ver ANEXO 4. Certificado de producto – Naturaleza de los áridos del hormigón.

Las especificaciones particulares de los diferentes tipos de hormigones se detallan en la siguiente tabla.

Tipo de hormigón	Resistencia a compresión f'_c (Mpa)	Resistencia a tracción por compresión diametral T (Mpa)	Asentamiento (mm)	Tamaño máximo nominal del árido grueso (mm)
Hormigón para la capa de fundación	25	≥ 2.0	110-119	20
Hormigón de limpieza	20	≥ 2.0	110-119	20
Hormigón para la capa de base	30	≥ 2.7	150-200	20

Tabla 15. Especificaciones de los hormigones. Fuente [(GME CITA, 2015a)]

3.5.4. Tipos de aditivos

Los aditivos químicos deben cumplir con las especificaciones de las normas ASTM C 494 (Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete) o ASTM C 1017 (Standard Specification for Chemical Admixtures for Use in Producing Flowing Concrete). Los aditivos incorporadores de aire deben cumplir con las especificaciones de la norma ASTM C 260 (Standard Specification for Air-Entraining Admixtures for Concrete). (GME CITA, 2015a)



Los aditivos que forman parte de la composición de los hormigones son:

- **Basf Master Rheobuild 1000:** Es un aditivo súper-plastificante reductor de agua de alta actividad.
- **Basf MasterSet R719:** Es un aditivo reductor de agua de medio rango y retardante.

Además, se utiliza un producto de curado

- **Sika Antisol Blanco Concentrado:** Es un curador para hormigón y mortero.

Para ver las características técnicas de los aditivos ver ANEXO 5. Características técnicas de aditivos utilizados

4. METODOLOGÍA

4.1. Evaluación Visual: Análisis de patologías en el hormigón.

Para la evaluación visual de las patologías presentes en la plataforma de rieles, se inspeccionaron todas las 33 losas que comprendían el tramo de estudio. Se realizaron esquemas de las 33 losas identificando en cada una de ellas las patologías que presentaban, además se realizó un registro fotográfico y finalmente se identificaron los posibles factores que provocaron los daños en el hormigón.

4.2. Pruebas de Ultrasonido sobre la plataforma de base.

Para realizar las pruebas de ultrasonido se consideró solo el tramo de la plataforma tranviaria donde se han realizado las pruebas dinámicas hasta el momento. Por esta razón se han realizado las pruebas de ultrasonido sobre la losa que conforma la Avenida México (entrada a cochera y patio taller).

4.2.1. Determinación de la calidad del hormigón de base

Para determinar el estado de la calidad del hormigón de la capa de base mediante el equipo de ultrasonido, se ha determinado la velocidad superficial de pulso ultrasónico sobre la plataforma del hormigón de base y una vez determinadas las velocidades éstas se han comparado con los criterios de calidad del hormigón dados por Agraval y Leslie & Cheesman.

Al momento de ejecutar las pruebas de ultrasonido se realizaron las pruebas sobre las diferentes losas que comprenden el tramo de estudio, para esto se consideraron todas las losas divididas por juntas teniendo un total de 33 losas evaluadas.

Los transductores se configuraron de tal manera que se puedan obtener dos puntos de evaluación por losa colocándolos a una distancia de 15 cm y 30 cm medidas de centro a centro (Figura 25), y en cada punto se determinaron 3 lecturas para que la velocidad de pulso obtenida sea el promedio de estas.



Figura 25. Configuración de los transductores para la determinación de la velocidad superficial



Como se puede observar en la Figura 25, los transductores se han colocado de tal manera que estos no se encuentren sobre los separadores de las traviesas, para de este modo evitar lecturas erróneas por la presencia de acero debajo de los transductores y además las zonas donde han sido colocados los transductores han sido pulidas para que no presente rugosidad. Se colocaron entre las diferentes losas ensayadas y los transductores vaselina, con el fin de asegurar un buen acoplamiento de los transductores a la superficie. El equipo fue calibrado antes de iniciar las mediciones y después de una hora de uso del equipo para obtener valores confiables.

Se debe tener en cuenta que como se han configurado los transductores para obtener una transmisión indirecta, los valores de velocidad superficial deben ser corregidos. En la siguiente tabla se muestra los valores de velocidad obtenidos mediante las pruebas de ultrasonido y la condición en la que se encuentra el hormigón según los diferentes criterios de las diferentes losas.

4.2.2. Determinación de profundidad e inclinación de fisuras

Al momento de realizar las pruebas de ultrasonido para la determinación de la inclinación y profundidad de fisuras, no se pudieron obtener valores coherentes. Es posible que haya ocurrido porque el estado en el que se encuentran la calidad del hormigón en su totalidad es muy pobre según el criterio de Leslie y Cheesman. Además es posible que la fisura no se encuentre perpendicular al plano en el que se colocaron los transductores y que la fisura se encuentra pasante en el espesor de la losa.

4.3. Esclerometría

Para determinar la resistencia de las losas de la capa de base mediante el esclerómetro, se realizaron las pruebas en los puntos que fueron colocados los transductores para la evaluación mediante ultrasonido, trazando dos líneas por cada losa. Se consideraron un total de 12 puntos por línea, considerando que en cada punto los valores obtenidos no difieran en más de 6 unidades para obtener el valor de la resistencia promedio y además cada punto con una separación de 2,5cm lo cual cumple con la norma ASTM C 805.



Figura 26. Prueba con esclerómetro sobre losa de base

Debido a que no fue posible la autorización de la extracción de núcleos sobre la plataforma de rieles para luego realizar ensayos a compresión de los núcleos y obtener así un factor de corrección del índice esclerométrico, se utilizó la curva de calibración para $F'c=300\text{kg/cm}^2$ (Figura 27) la cual cumple con las características del hormigón empleado en la plataforma de rieles donde se realizaron los ensayos esclerométricos.

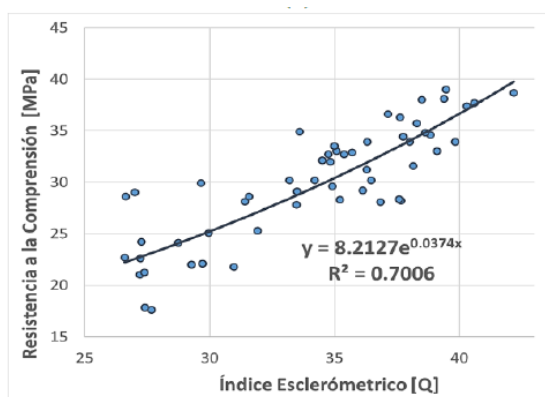


Figura 27. Curvas de Calibración Esclerométrica. $F'c= 300 \text{ kg/cm}^2$. Fuente: [(Miguitama F et al., 2017)]

4.4. Profundidad de Carbonatación.

Para determinar el nivel de frente carbonatado del hormigón en las diferentes losas, se realizaron ensayos sobre las superficies del hormigón de base utilizando fenolftaleína al 1% disuelta en alcohol y perforaciones con cincel y combo. Se realizaron un total de 10 losas no se consideraron las 33 losas debido a que el hormigón que las comprenden es relativamente nuevo (losas construidas en noviembre de 2013). La profundidad de carbonatación se midió en milímetros siguiendo las indicaciones de RILEM. Se escogieron un total de 2 puntos por losa, donde los puntos escogidos para evaluar la profundidad de carbonatación fueron:

puntos sobre riostras (para el cálculo de la curva de vida remanente) y puntos donde no existen riostras debajo (para obtener factores de corrección para la esclerometría).

Las Figura 28 y Figura 29 muestran el procedimiento realizado para la determinación de la profundidad de carbonatación en las diferentes losas.



Figura 28. Picado de losa en puntos sobre riostras

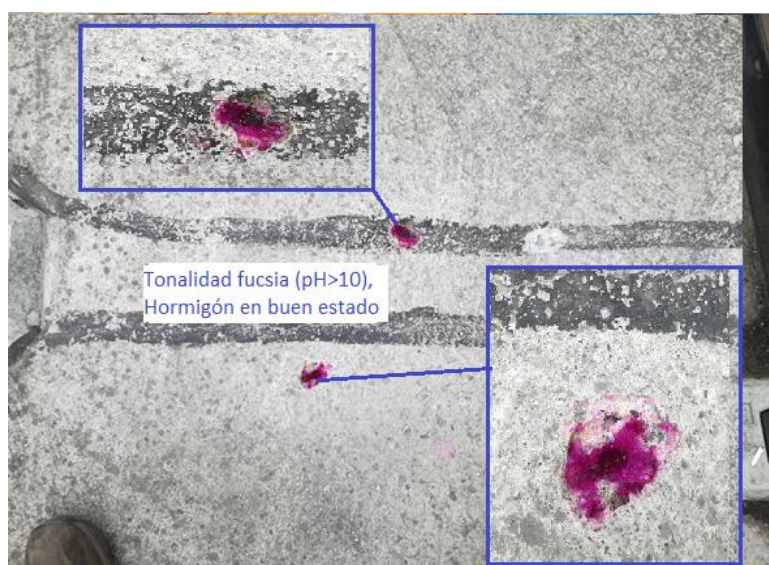


Figura 29. Reacción de fenolftaleína (tonalidad fucsia)

Ya que se obtuvieron valores sobreestimados al realizar la esclerometría debido a que existe exposición del hormigón al CO₂, se utilizó un factor de influencia de la profundidad de carbonatación (Tabla 7), donde se escogió un factor de corrección igual a 0.95 considerando la mayor profundidad de carbonatación de 8mm.

4.4.1. Vida Remanente

Para el cálculo de la vida remanente se consideró: la profundidad del frente de carbonatación máximo obtenido para cada losa. La velocidad de avance de frente se determinó con la relación entre la profundidad de carbonatación y la raíz cuadrada de la edad de la estructura. Se considera un recubrimiento de 10 mm solo en los puntos sobre las riostras y en los puntos donde no hay refuerzo el recubrimiento será 0. Se debe considerar que las consecuencias por carbonatación en las estructuras de hormigón simple (sin refuerzo) son intrascendentes

4.4.2. Curva de vida remanente

Considerando la tasas de velocidad de avance del frente de CO₂ mas alta ($k = 3.50 \text{ mm/año}^{0.5}$) y tiempo de evaluación (4 años), tiempo de vida útil del proyecto (30 años), y vida de remanencia correspondiente al valor de K. Se obtuvo una curva de la vida remanente del proyecto con respecto a la profundidad del frente de carbonatación.

4.5. Modelación de la plataforma

Para realizar la modelación de la plataforma se utiliza el software ANSYS, se considera la plataforma que ha sido evaluada mediante las pruebas no destructivas. Para realizar la modelación del comportamiento de la plataforma de rieles bajo la acción del paso del tranvía se consideraron dos casos: la plataforma sin presencia de fisuras sobre la capa de base y la plataforma con fisuras sobre la capa de base. Además, se tienen presentes parámetros como: la distribución de masas entre los bogíes del tranvía, la geometría del material rodante y la capacidad portante del suelo.

4.5.1. Características del tranvía

El tranvía de Cuenca fue construido por Alstom (Francia), el tranvía es del tipo CITADIS 302 y de piso 100% bajo. Está conformado por 5 secciones, de las cuales solo tres poseen ruedas (3 bogíes), tiene una longitud de 32.30 metros y un ancho de 2.40 metros. Los ejes de cada bogíe están separados con una distancia de 1.60 metros.

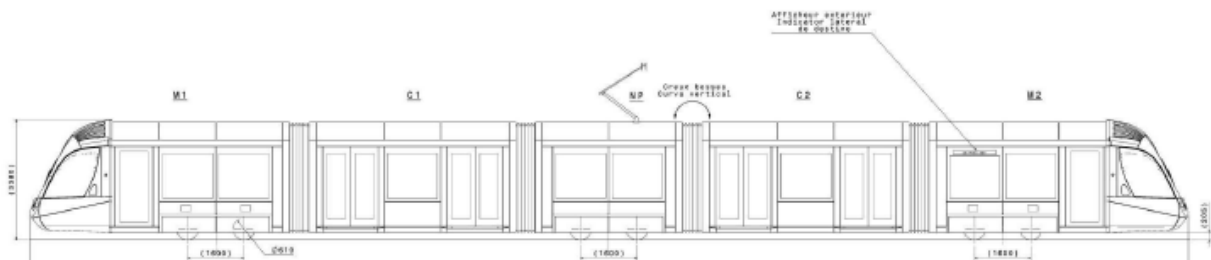


Figura 30. Esquema de tranvía de Cuenca (CITADIS 302)



Figura 31. Fotografía del tranvía Cuatro Ríos de Cuenca. [Fuente: fotografía tomada por Xavier Ochoa]

De los tres bogíes que conforman el tranvía de Cuenca, se tiene: M1 y M2 son los bogíes que conforman la cabina de conducción de cada uno de los externos y NP es el bogí que posee el pantógrafo de contacto con la línea LAC (línea aérea de contacto). Las secciones sin ruedas C1 y C2 son las cabinas de pasajeros, estas se encuentran entre los bogíes NP y M1 o M2 respectivamente, en la Figura 32 se muestra la configuración de un extremo del tranvía:

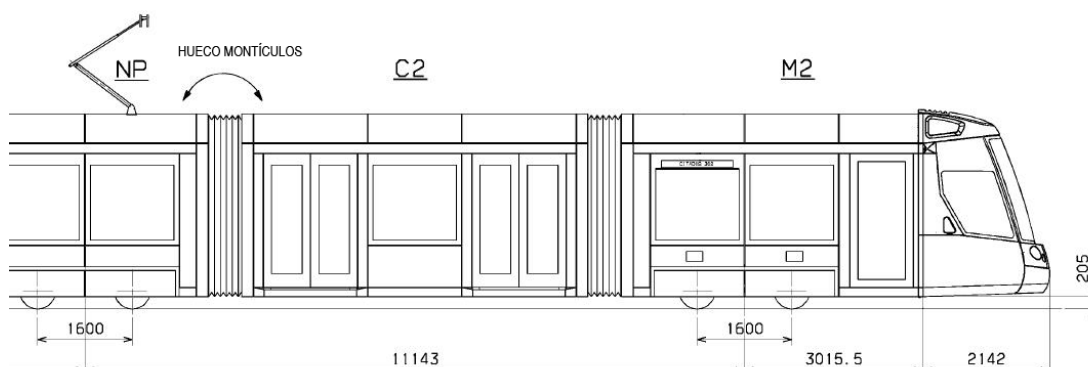


Figura 32. Esquema de bogíes que conforman el tranvía.

La carga del tranvía vacío tiene una tolerancia del 3% y el tranvía cargado con pasajeros tiene 2% de tolerancia (GME CITA, 2015b). Los valores de distribución de masas entre los tres bogíes se indican en la tabla siguiente:

Distribución de masas en kilogramo-fuerza			
Caso de carga	Tipo de bogíe		
	M1	NP	M2
Tranvía vacío	14148	14011	14109
Tranvía vacío +3%	14573	14431	14533
Con 6 pasajeros/m2	20219	21823	20179
Con 6 pasajeros/m2 +2%	20623	22259	20583

Tabla 16. Distribución de masas entre bogíes del tranvía. Fuente: [(GME CITA, 2015b)]

4.5.2. Parámetros de la modelación

Como se conoce que la plataforma tranviaria se asienta sobre suelo natural debidamente compactado con una capacidad portante de 50 MPa. En la modelación se supone que el suelo no sufrirá deformación y se considera este como un material rígido.

Para la modelación se considera el detalle de la plataforma de la vía de depósito, pero solo con las tres capas de hormigón (base, fundación y limpieza), ya que la capa de revestimiento mineral aún no está construida. Se considera cada capa con su debida resistencia y espesor.

En la modelación no se consideran los rieles, ya que se considera que el riel no sufre deformación y es una estructura rígida. Pero se considera que la carga por eje se distribuye entre los dos rieles, es decir, a cada riel se aplica la mitad de la carga y se distribuye al bi-bloque que conforman las traviesas. En el durmiente se aplica la carga de un medio eje ya que posee 2 ruedas por cada lado.

En el modelo se consideran que existen 7 traviesa bi-bloque a lo largo de una losa, la losa se considera como un rectángulo de 6.20 m x 2.30 m. El bi-bloque de la durmiente se modela como un rectángulo de 64 cm x 29 cm con una separación transversal entre sí de 1.43 m.

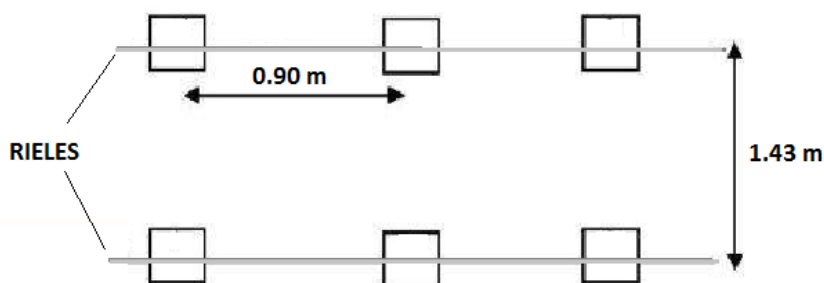


Figura 33. Esquema de modelo, vista en planta

Como la distancia entre dos ejes de un bogie es de 1.60 m y la distancia de travelaje es de 0.90 m, si se considera que una rueda está en un punto sobre la durmiente se puede decir que existe un bloque intermedio entre las dos ruedas. Donde este bloque intermedio estará afectado por la acción de las ruedas. Se considera que el bloque en el cual se encuentra la rueda recibe un 50% de la carga y los bloques adyacentes reciben un 25% de la carga. La figura 34 muestra cómo se consideran las cargas a lo largo de un riel.

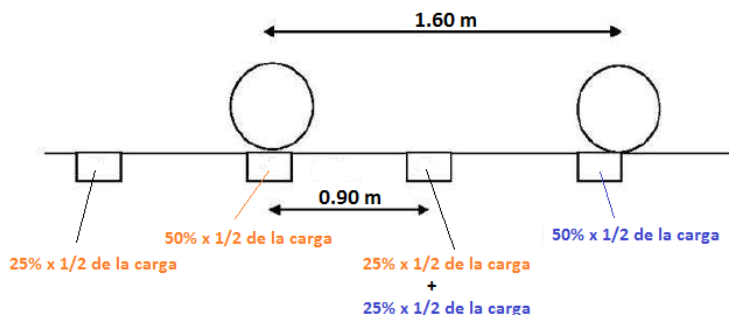


Figura 34. Aplicación de cargas sobre un riel

Para realizar la modelación se considera un análisis estático lineal, donde se consideran valores de carga estática, los cuales se multiplican por un coeficiente dinámico. Se escoge un coeficiente dinámico de 1.5. Donde se tiene que:

$$carga = carga\ dinámica = coef.\ dinámico * carga\ estática$$

El bogie utilizado para los cálculos fue el denominado como M1, ya que tiene la carga máxima según la tabla de distribución de masas (Tabla 16), se considera el caso de tranvía vacío con un 3% de tolerancia, ya que circulará así en la entrada a depósito y patio taller. En la tabla siguiente se indica la carga considerada para la modelación.

Condición	Q estático (KN)	Q dinámico (KN)	1/2 Q dinámico (KN)	50%	25%
				Bloques debajo de la rueda	Bloques adyacentes a la rueda
Tranvía vacío +3%	72.87	109.30	54.65	27.32	13.66

Tabla 17. Cargas consideradas en la modelación

Al momento de aplicar las cargas sobre la plataforma hay que tener presente que existen 7 durmientes bi-bloque por cada riel, por lo cual se consideran dos casos para la aplicación de cargas sobre la losa (Figura 35):

Caso 1: cuando los ejes del bogie están en uno de los extremos de la losa y Caso 2: cuando los ejes del bogie se encuentran en un punto intermedio de la losa. En la figura siguiente se indican los dos casos que se consideran para ver el comportamiento de la plataforma bajo el efecto de las cargas de un bogie.

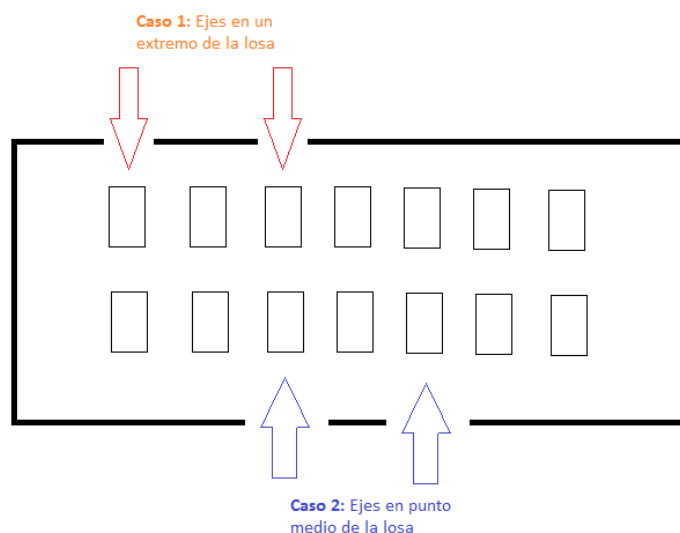


Figura 35. Consideraciones de carga sobre la plataforma

En la modelación de la plataforma con la presencia de fisuras sobre la losa de base, las fisuras se consideran como elementos compuestos de un hormigón degradado y con fricción. Dado que las pruebas realizadas anteriormente en la plataforma han indicado que estas son pasantes, en el modelo se considera la plataforma numero 2 la cual presenta una de las fisuras pasantes de mayor espesor (Figura 36).

Consideraciones de las distintas fisuras sobre la plataforma: fisura más grande entre traviesas 2 y 3 es de 7mm de ancho, y las fisuras entre durmientes bi bloque 3 mm de ancho y 5 cm de profundidad.



Figura 36. Plataforma usada en el modelo

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Las fisuras sólo se podrán reparar correctamente si se conocen sus causas y si los procedimientos de reparación seleccionados son adecuados para dichas causas; caso contrario, las reparaciones pueden durar poco. Los procedimientos de reparación exitosos a largo plazo son aquellos que atacan no sólo las propias fisuras sino también las causas de la fisuración. (Halvorsen et al., 1993).

Para cada diagnostico se presentan alternativas de corrección más frecuentes, la selección de la alternativa más adecuada se han realizado en base a las consideraciones dadas en el capítulo 2 y 7 del libro “Rehabilitación y mantenimiento de estructuras de concreto” (Helene & Pazini Figueiredo, 2003)

5.1. Evaluación Visual: Análisis de patologías en el hormigón.

Existen fisuras en la plataforma base entre las durmientes, estas fisuras se deben a que existe un recubrimiento de hormigón bajo, entre el nivel superior de las riostras de las durmientes y el nivel superior de hormigón de base, ya que este varía de 5mm a 10mm. En las Figura 37 y Figura 38 se muestran las fisuras entre las durmientes. Estas fisuras han sido selladas mediante un material epóxico Sika Igel Denso, para después poder realizar la plataforma de acabado con revestimiento mineral, estas fisuras presentan una abertura promedio de 3mm.



Figura 37. Fisuras ocasionadas sobre los separadores de durmientes

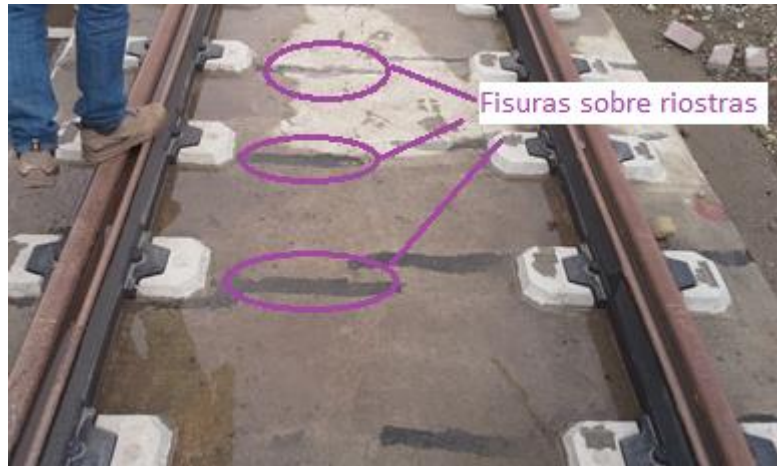


Figura 38. Fisuras ocasionadas sobre los separadores de durmientes

En las Figura 39 y Figura 40 se muestran la manera en la que se colocan las riostras entre las durmientes bi bloque, antes de la construcción de la capa de base.



Figura 39. Riostras de durmientes bi bloque



Figura 40. Riostras de durmientes bi bloque

Además de esas fisuras sobre la plataforma tranviaria, existen fisuras que no se encuentran sobre las riostras de las durmientes, las cuales si pueden presentar un riesgo para la estructura, ya se encuentran ubicadas perpendicularmente a la

dirección del riel con un ancho máximo de 7mm. Una de estas se muestran en la Figura 41, las posibles causas de la aparición de estas fisuras puede ser: la falta de refuerzo longitudinal a lo largo de cada losa, las cargas aplicadas por el tranvía sobre una losa sin refuerzo, la contracción y retracción por cambios de temperatura.

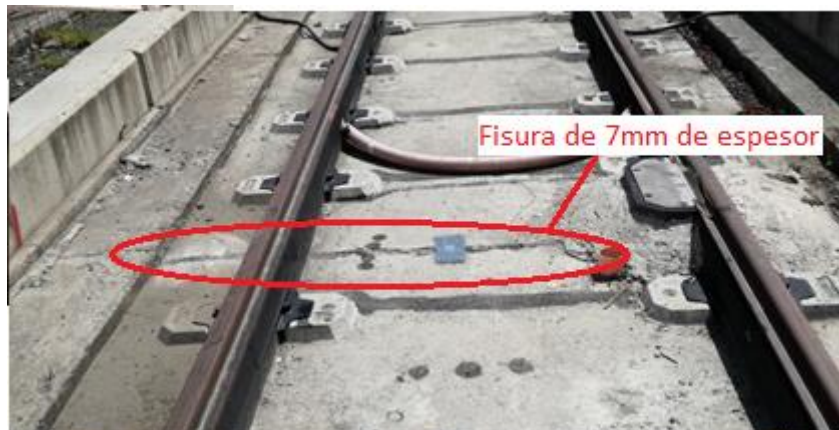


Figura 41. Fisuras perpendiculares al riel

Además se puede observar que el hormigón que compone el bordillo GLO es un hormigón que presenta demasiados poros, se sabe que el elemento se construyó mediante encofrado y mediante un hormigón colado in-situ, por lo cual la presencia de poros es un indicador de que no se realizó un correcto vibrado del hormigón. Se puede observar en las Figura 42 y Figura 43.



Figura 42. Presencia de poros en bordillo GLO.



Figura 43. Presencia de poros en bordillo GLO.

Existe también fisuramiento transversal en los bordillos GLO que posee un ancho que oscila alrededor de 2mm, las cuales son pasantes y dividen al elemento prácticamente en dos. Se indican en las Figura 44, Figura 45 y Figura 46.



Figura 44. Fisura transversal en bordillo GLO.



Figura 45. Fisura transversal en bordillo GLO.



Figura 46. Fisura transversal en bordillo GLO.

En la figura siguiente se indican los esquemas de fisuras de tres losas, este es un extracto del ANEXO 6. Esquema de fisuras en losas analizadas. Si se desea ver los esquemas de las 33 losas analizadas en la realización del estudio revisar anexo.

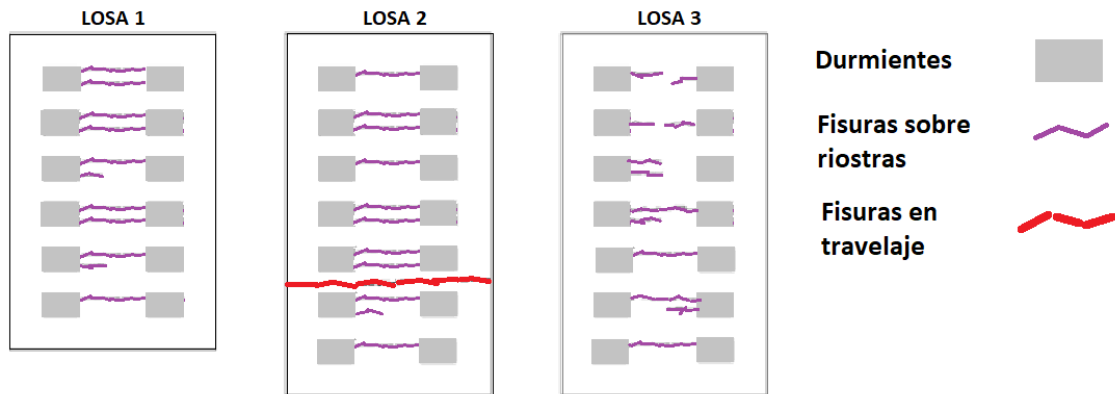


Figura 47. Esquema de fisuras para losas 1, 2 y 3. Extracto de ANEXO 6. Esquema de fisuras en losas analizadas)

Del esquema de fisuras presentado anteriormente se puede observar que todas las losas presentan algún tipo de fisuración, en donde las fisuras sobre las riostras son del tipo pasivas ya que son fisuras muertas, además estas presentan una abertura promedio de 3mm. Se recomienda para garantizar el sellado de las fisuras inyección por gravedad.

Las fisuras que no se encuentran sobre las riostras presentan una abertura promedio de 7mm y son del tipo activas ya que estas seguirán abriéndose por la falta de acero de refuerzo cuando reciban la carga del paso del tranvía. Para garantizar el sellado de las fisuras, se debe rellenar con sellante elástico.

5.2. Pruebas de ultrasonido

La tabla siguiente es una tabla simplificada de los valores obtenidos al realizar las correcciones de la velocidad para las diferentes losas; la tabla con todas las lecturas de tiempo obtenidas para cada punto y la velocidad promedio obtenida se encuentran en el ANEXO 7. Tabla de valores obtenidos mediante pruebas de ultrasonido para los diferentes puntos de cada losa.

Numero de Losa	Velocidad Corregida (m/s)	Condición del Hormigón	
		Leslie y Cheesman	Agraval
1	1546.3	Muy Pobre	Pobre
	2677.5	Pobre	Regular
	1706.95	Muy Pobre	Pobre
2	2341.5	Pobre	Regular
	1613.85	Muy Pobre	Pobre
3	1661.8	Muy Pobre	Pobre



4	1124.2	Muy Pobre	Pobre
	2432.5	Pobre	Regular
5	2394	Pobre	Regular
	7518	Excelente	Buena
6	2268	Pobre	Regular
	1264.9	Muy Pobre	Pobre
7	2077.25	Muy Pobre	Regular
	2071.3	Muy Pobre	Pobre
8	2022.65	Muy Pobre	Pobre
	2331	Muy Pobre	Regular
9	2177	Pobre	Regular
	895.3	Muy Pobre	Pobre
10	2055.55	Muy Pobre	Pobre
	1997.1	Muy Pobre	Pobre
11	2147.6	Muy Pobre	Pobre
	6373.5	Excelente	Buena
12	1645.35	Muy Pobre	Pobre
	3003	Pobre	Regular
13	1877.4	Muy Pobre	Pobre
	2067.8	Muy Pobre	Pobre
14	2338	Pobre	Regular
	2042.6	Muy Pobre	Pobre
15	1906.45	Muy Pobre	Pobre
	2087.4	Muy Pobre	Pobre
16	2345	Pobre	Regular
	2282	Pobre	Regular
17	1661.8	Muy Pobre	Pobre
	1883.7	Muy Pobre	Pobre
18	1640.8	Muy Pobre	Pobre
	2334.5	Pobre	Regular
19	2215.15	Pobre	Pobre
	2432.5	Pobre	Regular



20	2061.85	Pobre	Pobre
	1900.85	Pobre	Pobre
21	2226	Pobre	Pobre
	1947.05	Pobre	Pobre
22	2027.2	Muy Pobre	Pobre
	1864.8	Muy Pobre	Pobre
23	2004.1	Muy Pobre	Pobre
	1807.75	Muy Pobre	Pobre
24	1741.6	Muy Pobre	Pobre
	2146.55	Muy Pobre	Pobre
25	2021.95	Muy Pobre	Pobre
	2142.7	Muy Pobre	Pobre
26	1514.1	Muy Pobre	Pobre
	1846.95	Muy Pobre	Pobre
27	1567.3	Muy Pobre	Pobre
	1506.75	Muy Pobre	Pobre
28	1534.4	Muy Pobre	Pobre
	1454.25	Muy Pobre	Pobre
29	1386.35	Muy Pobre	Pobre
	1934.1	Muy Pobre	Pobre
30	2180.5	Muy Pobre	Pobre
	995.05	Muy Pobre	Pobre
31	1452.15	Muy Pobre	Pobre
	3689	Buena	Buena
32	1419.25	Muy Pobre	Pobre
	1409.1	Muy Pobre	Pobre
33	2097.55	Muy Pobre	Pobre
	1418.2	Muy Pobre	Pobre

Tabla 18. Velocidades de pulso corregidas de las diferentes losas. Extracto de ANEXO 7. Tabla de valores obtenidos mediante pruebas de ultrasonido para los diferentes puntos de cada losa)

Con respecto a la Tabla 18 se observa que la condición del hormigón según el criterio de Leslie-Cheesman el 3% de las losas analizadas muestra un estado del hormigón excelente, 1.5% un estado de hormigón bueno, 25,8% un estado pobre y 69.7% un

estado de hormigón muy pobre. Según el criterio de Agraval se tiene solo 4.5% de las losas analizadas con una condición del hormigón como buena, 21.2% tienen una condición regular y 74.2% una condición pobre del hormigón. Además, se pudo corroborar que las fisuras que no se encuentran sobre las riostras son pasantes.

Ya que la condición en la que se encuentra el hormigón es muy pobre o pobre en su totalidad, y además presenta demasiada porosidad (factor negativo para la determinación de la profundidad de fisuras). Es muy probable que esta condición que ha adquirido el hormigón se deba a un insuficiente vibrado una vez vertido en obra, un inadecuado curado del hormigón o la agregación de agua de amasado para facilitar su puesta en obra. Se debe tener presente que, aunque el hormigón suministrado a obra tenga todos los controles de calidad, al cometer errores de manipulación se pueden alterar sus características de durabilidad y resistencia mecánica.

5.3. Esclerometría

La Tabla 19 muestra los valores de resistencia obtenidos mediante las pruebas con esclerómetro y sus respectivos valores ya corregidos. La tabla siguiente es una tabla simplificada de los valores obtenidos de resistencia para las diferentes losas, la tabla con los demás parámetros obtenidos para cada punto se encuentran en el ANEXO 8. Tabla de valores obtenidos mediante pruebas con esclerómetro para los diferentes puntos de cada losa.

LOSA	Índice Esclerométrico	Resistencia Compresión sin corregir (kg/cm ²)	Resistencia Compresión Corregido (kg/cm ²)
1	49,5	360	422
	49,3	365	420
2	48,4	345	413
	51,7	425	441
3	52,3	440	446
	49,9	365	425
4	52	430	443
	51,9	430	442
5	49,7	365	424
	49,6	360	423
6	49,5	360	422
	50	370	426
7	49,8	365	425
	50,2	375	428
8	48	390	409
	49,8	365	425
9	47,9	335	408
	49,4	370	421



10	49,8	365	425
	52,2	435	445
11	52,3	440	446
	52,6	450	448
12	52,7	460	449
	48,6	350	414
13	47,5	325	405
	50	370	426
14	49,9	365	425
	49,2	365	419
15	46,7	310	398
	47,5	325	405
16	47,7	330	407
	50,8	390	433
17	50,3	410	429
	50,8	390	433
18	50	370	426
	48	340	409
19	48,4	345	413
	48,6	350	414
20	49,7	365	424
	47,3	325	403
21	47,6	330	406
	48,4	345	413
22	48,1	340	410
	51,3	410	437
23	50,5	380	431
	47,1	320	402
24	47,4	325	404
	46,5	305	396
25	42,9	240	366
	41,8	225	356
26	48,3	345	412
	46,5	305	396
27	47,3	325	403
	49,9	365	425
28	46,7	310	398
	48,5	350	413
29	48,2	340	411
	46,8	315	399
30	47,3	325	403
	45,9	306	391
31	50,3	375	429
	46,2	310	394
32	48,8	355	416
	45,8	300	390
33	43	240	367
	43,8	265	373

Tabla 19. Valores de resistencia esclerómetro. Extracto de ANEXO 8. Tabla de valores obtenidos mediante pruebas con esclerómetro para los diferentes puntos de cada losa)

El análisis de esclerómetro, el cual sirve para dar un diagnostico preliminar nos indica que el hormigón presenta una adecuada resistencia para realizar intervenciones, pero se debe considerar que los valores obtenidos solo son una estimación de la resistencia del hormigón, por lo cual sería recomendable realizar extracción de núcleos en las zonas donde los valores de esclerometría son menores, para realizar ensayos a compresión y tener una idea más aproximada de la resistencia del hormigón.

5.4. Profundidad de carbonatación

Las Tabla 20 y Tabla 21 muestran los resultados de profundidad de carbonatación (pérdida de pH), que se obtuvieron para las diferentes losas, para calcular los factores de corrección y para realizar el cálculo de vida remanente respectivamente.

LOSA	Ubicación	Profundidad (mm)
0	Entre durmiente 2 y 3	min = 5 máx = 8
4	Entre durmiente 3 y 4	min = 3 máx = 5
5	Entre durmiente 2 y 3	min = 4 máx = 6
8	Entre durmiente 3 y 4	min = 3 máx = 6
10	Entre durmiente 2 y 3	min = 4 máx = 6
12	Entre durmiente 5 y 6	min = 4 máx = 7
14	Entre durmiente 6 y 7	min = 4 máx = 5
16	Entre durmiente 5 y 6	min = 3 máx = 6
18	Entre durmiente 5 y 6	min = 3 máx = 6
20	Entre durmiente 5 y 6	min = 3 máx = 5

Tabla 20. Valores profundidad de carbonatación para cálculo de factor de corrección para esclerometría.

LOSA	Ubicación	Profundidad (mm)	Recubrimiento	Observaciones
0	Entre traviesa 2 y 3	min = 4 máx = 6	10	Carbonatación alcanza el 60% del espesor del recubrimiento
4	Entre traviesa 3 y 4	min = 4 máx = 7	10	Carbonatación alcanza el 70% del espesor del recubrimiento
5	Entre traviesa 2 y 3	min = 5 máx = 7	10	Carbonatación alcanza el 70% del espesor del recubrimiento
8	Entre traviesa 3 y 4	min = 3 máx = 6	10	Carbonatación alcanza el 60% del espesor del recubrimiento
10	Entre traviesa 2 y 3	min = 4 máx = 6	10	Carbonatación alcanza el 60% del espesor del recubrimiento
12	Entre traviesa 5 y 6	min = 3 máx = 5	10	Carbonatación alcanza el 50% del espesor del recubrimiento
14	Entre traviesa 6 y 7	min = 2 máx = 5	10	Carbonatación alcanza el 50% del espesor del recubrimiento
16	Entre traviesa 5 y 6	min = 4 máx = 7	10	Carbonatación alcanza el 70% del espesor del recubrimiento
18	Entre traviesa 5 y 6	min = 3 máx = 5	10	Carbonatación alcanza el 50% del espesor del recubrimiento
20	Entre traviesa 5 y 6	min = 5 máx = 7	10	Carbonatación alcanza el 70% del espesor del recubrimiento

Tabla 21. Valores de profundidad de carbonatación para el cálculo de curva de vida remanente

En los puntos sin riostras (punto medio de travelaje) la mayor profundidad de carbonatación se presenta en la losa 0 con un valor de 8mm. En los puntos sobre riostras el máximo valor de carbonatación fue de 7mm para las losas 4, 5, 16 y 20. Debido a que no existe acero de refuerzo no se puede generar corrosión, pero no se debe descartar de ninguna manera que podría suceder en los puntos sobre riostras

(separadores de acero de las durmientes) donde la carbonatación alcanza el 70% del espesor de recubrimiento, para evitar el problema de corrosión a futuro sería adecuado realizar un tratamiento a base de inhibidores de corrosión y sellar las fisuras con inyección de micro cementos o epoxi.

5.4.1. Vida remanente

Mediante el modelo de la raíz cuadrada del tiempo, se calculó la vida remanente para cada losa que compone la plataforma de rieles, los resultados se indican en la tabla siguiente:

LOSA	Año de construcción	Año de evaluación	Prof. de carbonat. máximo (mm)	K, Velocidad de avance del frente (mm/año ^{1/2})	Rec. (mm)	Tiempo: $t=(X/K)^2$ (años)	Vida remanente tr (años)
0	2013	2017	6	0.67	10	225.0	221.0
4	2013	2017	7	0.57	10	306.3	302.3
5	2013	2017	7	0.57	10	306.3	302.3
8	2013	2017	6	0.67	10	225.0	221.0
10	2013	2017	6	0.67	10	225.0	221.0
12	2013	2017	5	0.80	10	156.3	152.3
14	2013	2017	5	0.80	10	156.3	152.3
16	2013	2017	7	0.57	10	306.3	302.3
18	2013	2017	5	0.80	10	156.3	152.3
20	2013	2017	7	0.57	10	306.3	302.3

Tabla 22. Resultados de vida remanente

En los resultados de la tabla de vida remanente se puede observar que para todas las losas analizadas de la plataforma, los valores de la tasa de deterioro K (Velocidad

de avance del frente de CO₂) se encuentra en el rango $2 < K < 6$ lo cual indica que el hormigón posee una calidad buena (según la Tabla 6), se debe tener en cuenta que como el hormigón es relativamente nuevo el periodo de vida remanente no se podría considerar como el real.

5.4.2. Curva de vida remanente

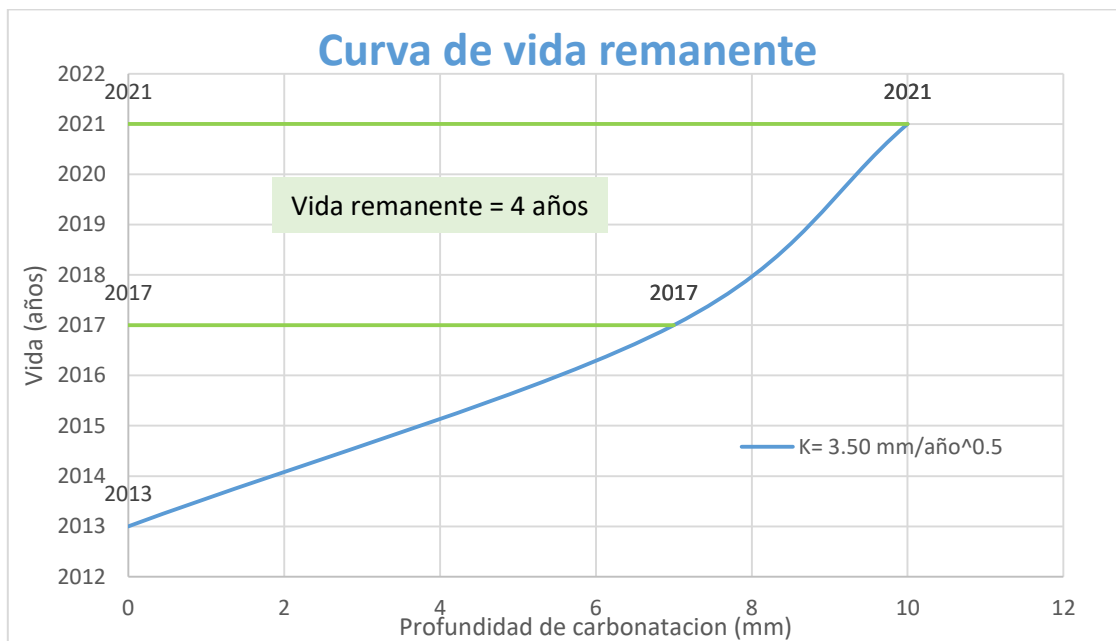


Figura 48. Curva de vida remanente mediante modelo de la raíz cuadrada del tiempo

De la curva de vida remanente obtenida mediante el modelo de la raíz cuadrada del tiempo, se puede observar que el frente de carbonatación alcanzara una profundidad de carbonatación de 10 mm para el año 2021 y que la vida remanente del proyecto es de 4 años.

5.4.3. Corrección de resistencia (factores de influencia de la profundidad de carbonatación)

En la tabla siguiente se muestran los valores de resistencia final del concreto corregidos mediante el factor de influencia de carbonatación.



LOSA	IE	Resistencia a compresión corregido (kg/cm ²)	Resistencia a compresión final (kg/cm ²)
1	49,5	422	401
	49,3	420	399
2	48,4	413	392
	51,7	441	419
3	52,3	446	424
	49,9	425	404
4	52	443	421
	51,9	442	420
5	49,7	424	403
	49,6	423	402
6	49,5	422	401
	50	426	405
7	49,8	425	403
	50,2	428	407
8	48	409	389
	49,8	425	403
9	47,9	408	388
	49,4	421	400
10	49,8	425	403
	52,2	445	423
11	52,3	446	424
	52,6	448	426
12	52,7	449	427
	48,6	414	394
13	47,5	405	385
	50	426	405
14	49,9	425	404
	49,2	419	398
15	46,7	398	378
	47,5	405	385
16	47,7	407	386
	50,8	433	411
17	50,3	429	407
	50,8	433	411
18	50	426	405
	48	409	389
19	48,4	413	392
	48,6	414	394
20	49,7	424	403
	47,3	403	383
21	47,6	406	386
	48,4	413	392
22	48,1	410	390
	51,3	437	415
23	50,5	431	409
	47,1	402	381

24	47,4 46,5	404 396	384 377
25	42,9 41,8	366 356	347 339
26	48,3 46,5	412 396	391 377
27	47,3 49,9	403 425	383 404
28	46,7 48,5	398 413	378 393
29	48,2 46,8	411 399	390 379
30	47,3 45,9	403 391	383 372
31	50,3 46,2	429 394	407 374
32	48,8 45,8	416 390	395 371
33	43 43,8	367 373	348 355

Tabla 23. Valores de resistencia a compresión final

5.5. Modelación

Los dos casos ya realizados en ANSYS se muestran en las siguientes figuras:

a) Plataforma sin presencia de fisuras

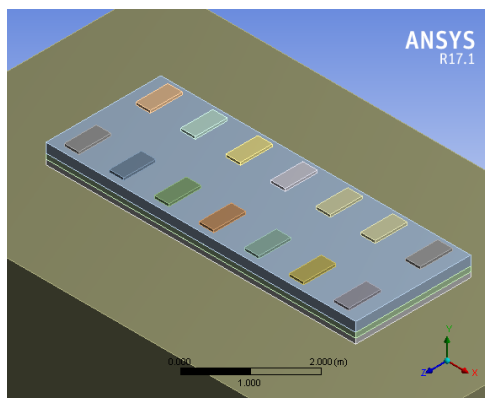


Figura 49. Modelo de la plataforma sin fisuras en Ansys.

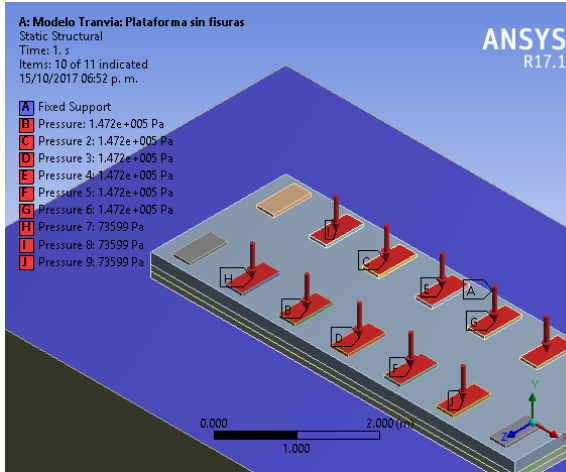


Figura 50. Plataforma con cargas al centro de la losa

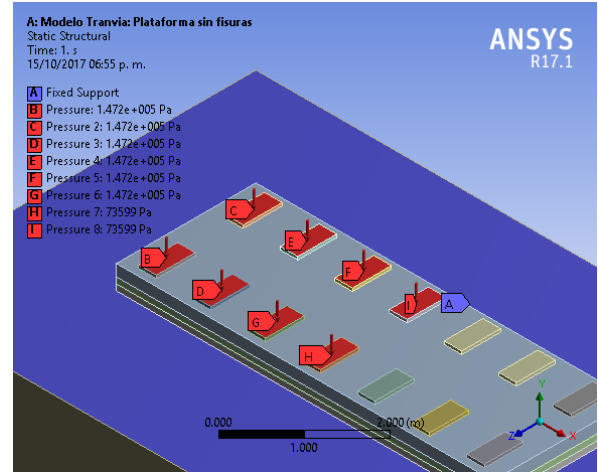


Figura 51. Plataforma con cargas al extremo de la losa

b) Plataforma con presencia de fisuras

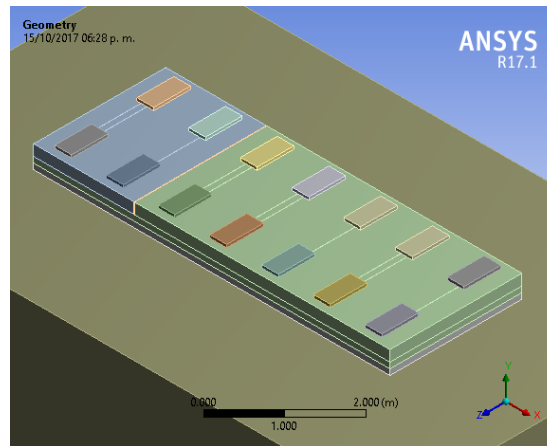


Figura 52. Modelo de plataforma con fisuras en Ansys

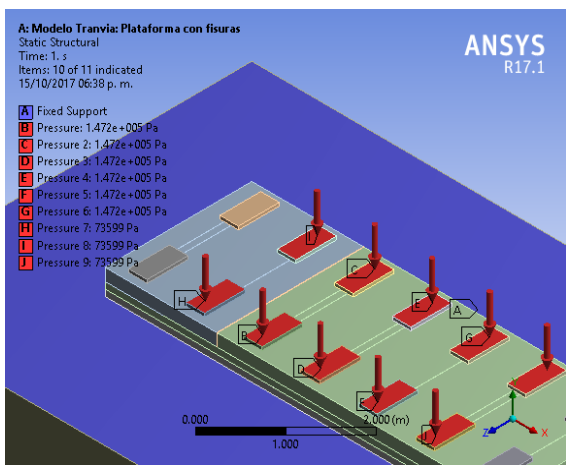


Figura 53. Plataforma con cargas al centro de la losa

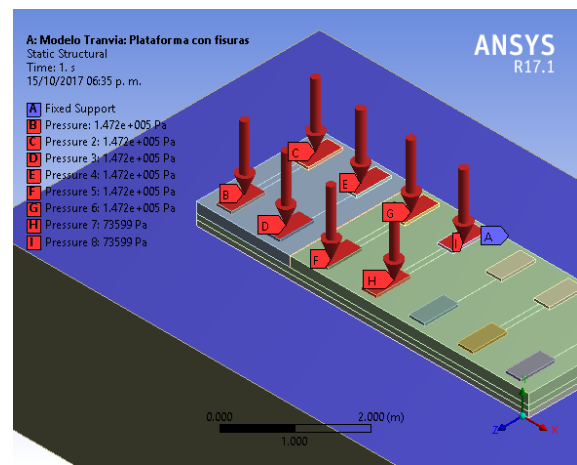


Figura 54. Plataforma con cargas al extremo de la losa

5.5.1. Resultados de la modelación

Para la interpretación de los resultados obtenidos mediante la modelación se comparan los valores obtenidos para la plataforma sin fisuración y los de la plataforma con fisuración.

5.5.1.1. Plataforma bajo la acción de cargas al extremo de la losa:

- Tensión máxima obtenida:

Para la plataforma sin afección por fisuras se obtuvieron valores máximos y mínimos de tensión de 33 076 Pa y – 63 034 Pa, y para plataforma con afección 164 720 Pa y -172 610 Pa. En las figuras siguientes se muestran las dos situaciones.

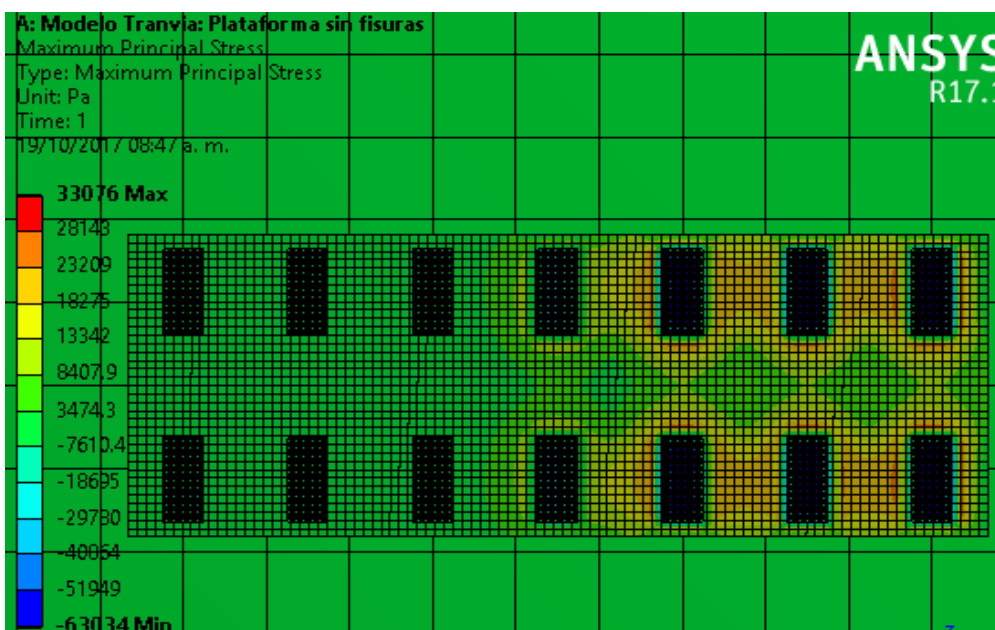


Figura 55. Tensión en plataforma sin fisuración

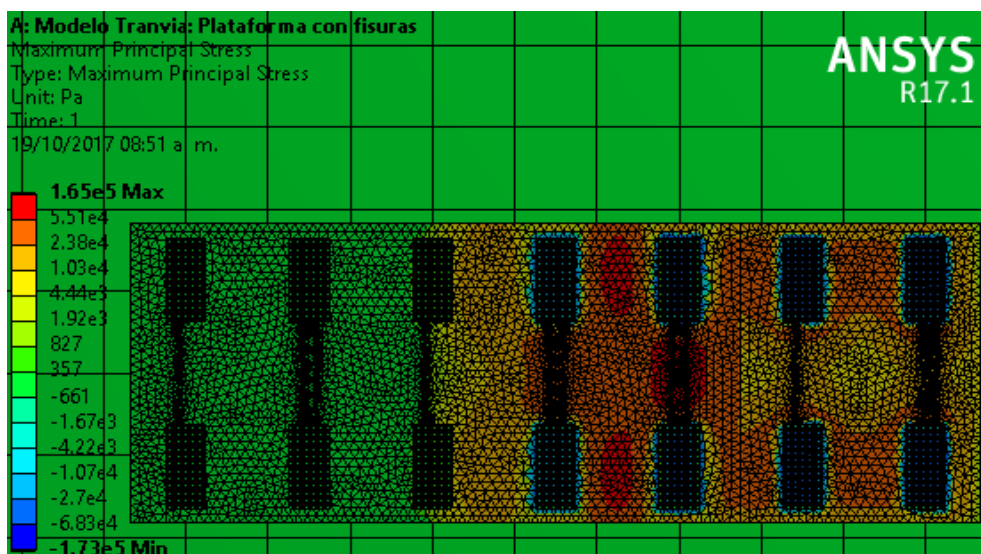


Figura 56. Tensión en plataforma con fisuración

Los valores de deformación obtenidos para la tensión máxima principal fueron: 2.48 E-3 mm y -7.27 E -4 mm sin presencia de fisuras, 6.75 E-3 mm y -1.91 E-3 mm con presencia de fisuras.

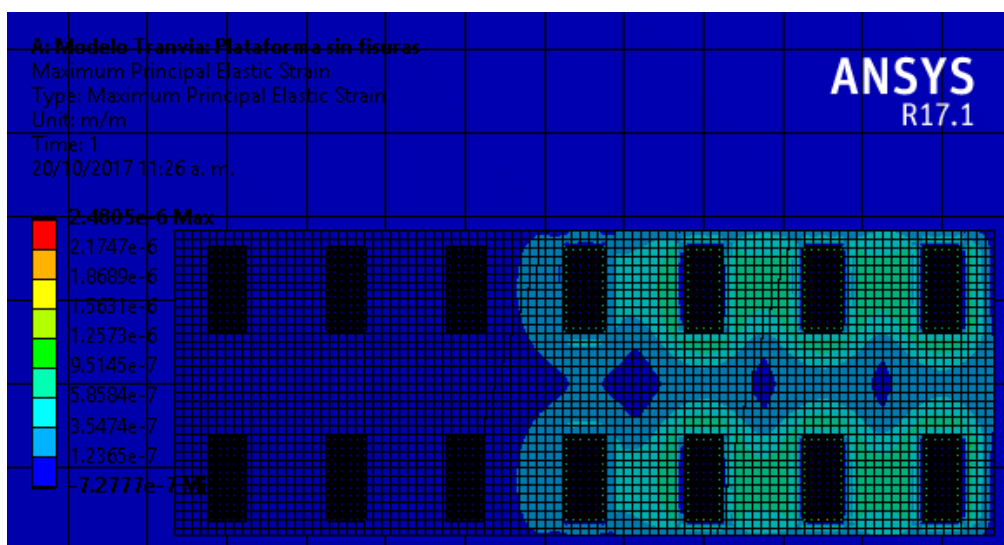


Figura 57. Deformación por tensión en plataforma sin fisuras.

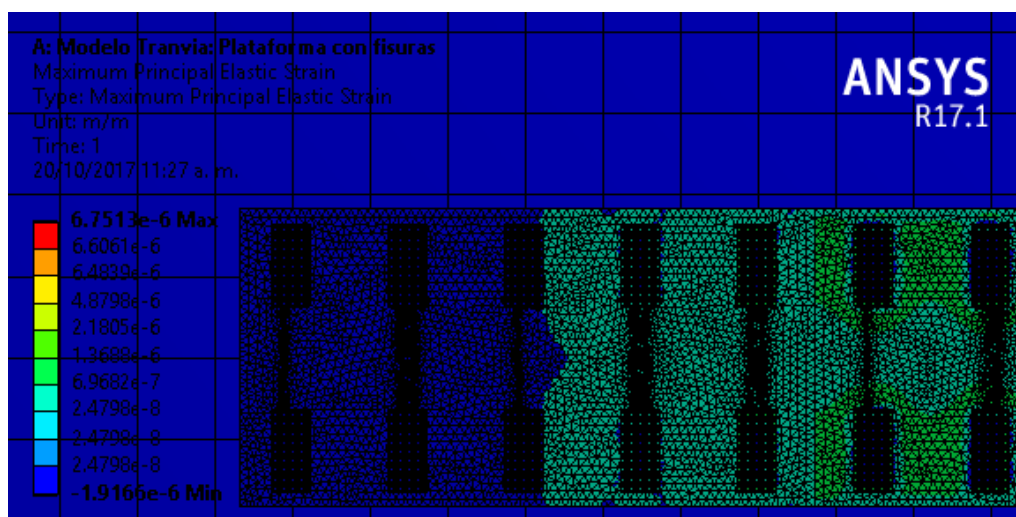


Figura 58. Deformación por tensión en plataforma con fisuras.

- **Cortante máxima obtenida:**

Para la plataforma sin afección por fisuras se obtuvieron valores máximos y mínimos de cortante de 255 000 Pa y 0 Pa, y para plataforma con afección 288 000 Pa y 0 Pa. En las figuras siguientes se muestran las dos situaciones.

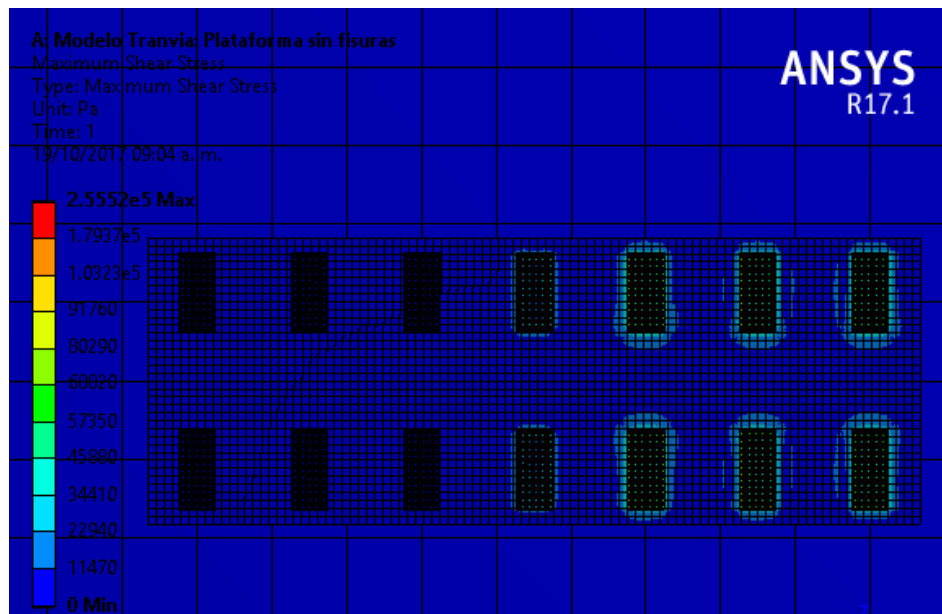


Figura 59. Cortante en plataforma sin fisuración

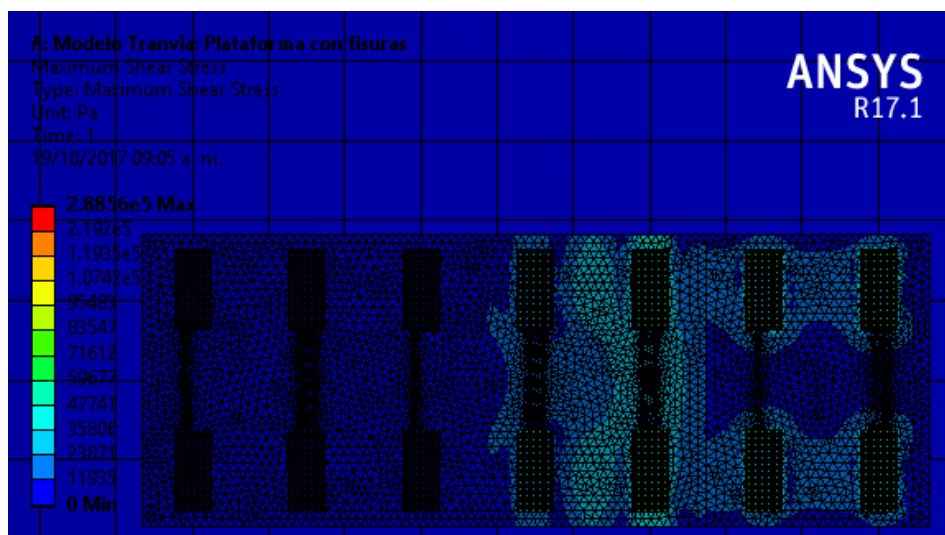


Figura 60. Cortante en plataforma con fisuración

Los valores de deformación obtenidos para la cortante máximo principal fueron: 2.01 E-2 mm y 0 mm sin presencia de fisuras, 2.27 E-2 mm y 0 mm con presencia de fisuras.

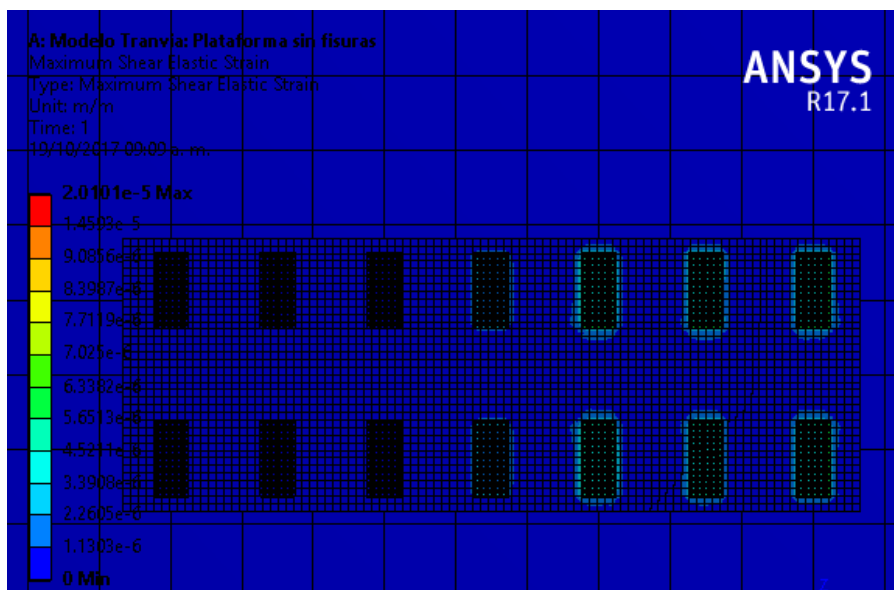


Figura 61. Deformación por cortante en plataforma sin fisuras.

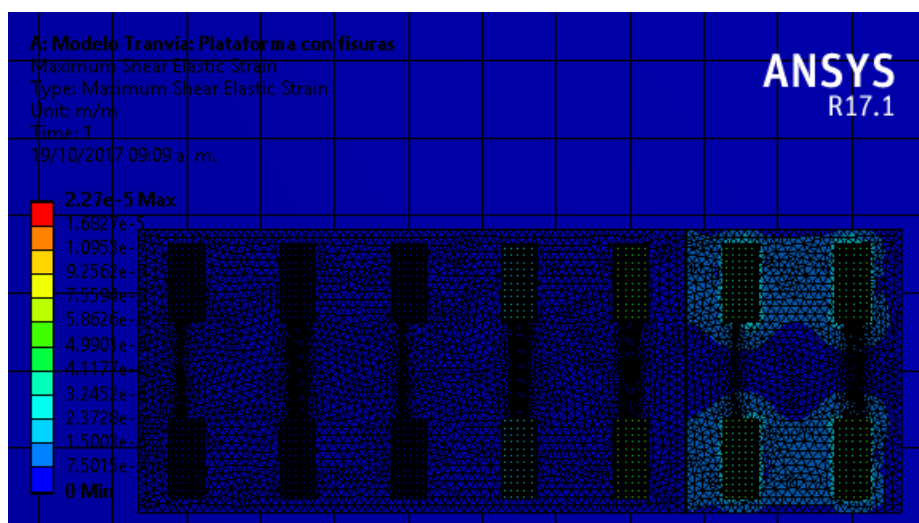


Figura 62. Deformación por cortante en plataforma con fisuras.

- **Deformación total:**

Para la plataforma sin afección por fisuras se obtuvieron valores máximos y mínimos de deformación total de 1.47 E-3 mm , y para plataforma con afección 1.79 E-3 mm . En las figuras siguientes se muestran las dos situaciones.

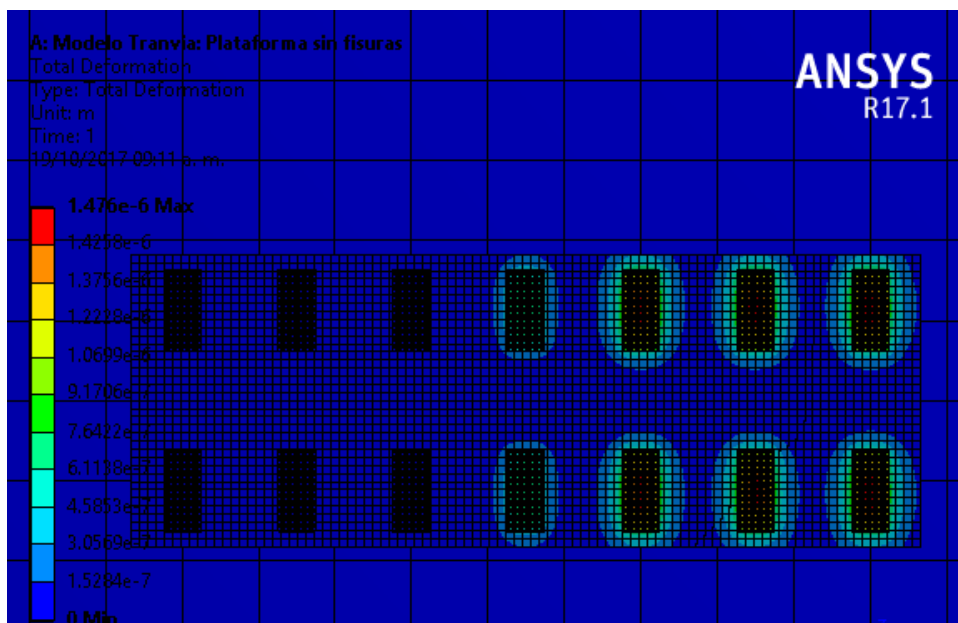


Figura 63. Deformación total plataforma sin fisuras.

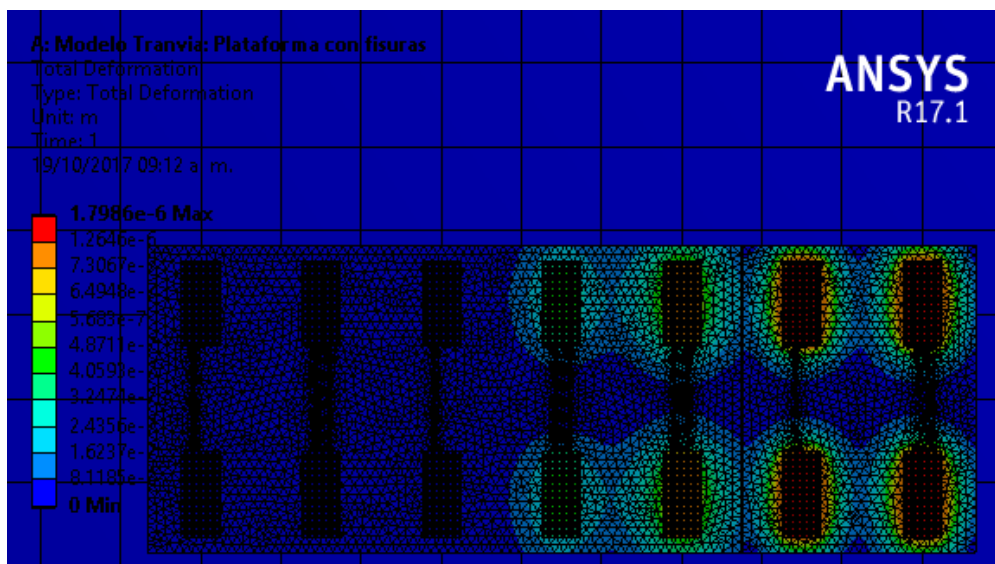


Figura 64. Deformación total plataforma con fisuras.

5.5.1.2. Plataforma bajo la acción de cargas al centro de la losa:

- Tensión máxima obtenida:

Para la plataforma sin afección por fisuras se obtuvieron valores máximos y mínimos de tensión de 33 013 Pa y – 62 849 Pa, y para plataforma con afección 163 400 Pa y -257 400 Pa. En las figuras siguientes se muestran las dos situaciones.

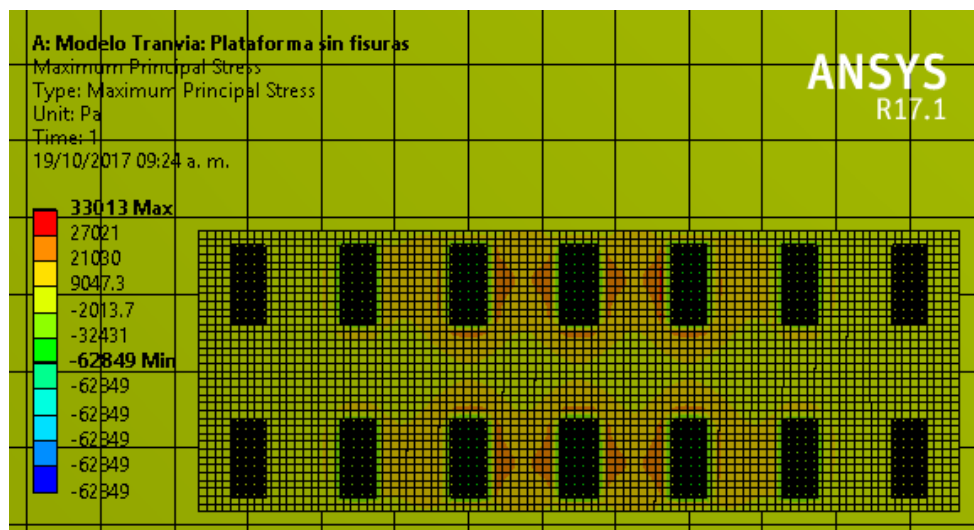


Figura 65. Tensión en plataforma sin fisuración

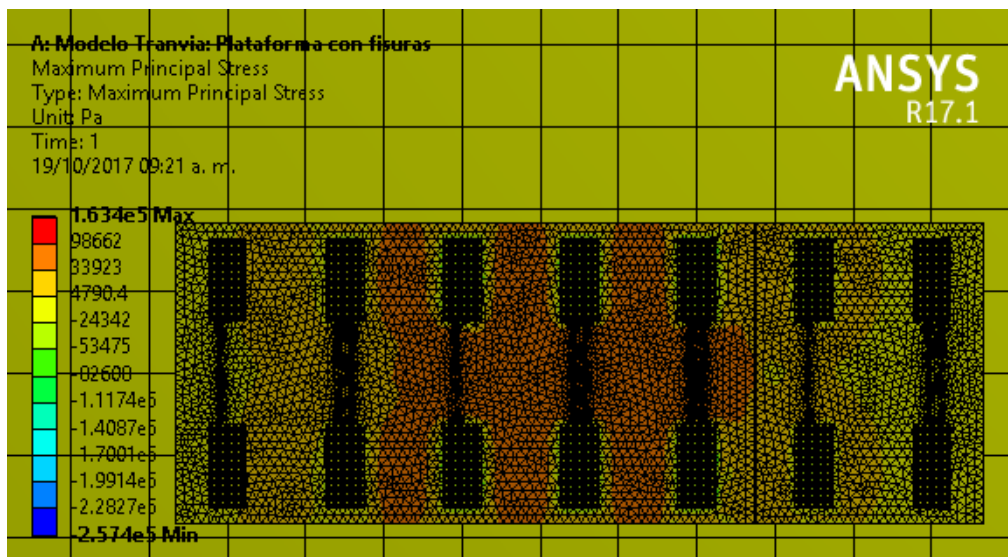


Figura 66. Tensión en plataforma con fisuración

Los valores de deformación obtenidos para la tensión máxima principal fueron:
2.39 E-3 mm y -7.18 E -4 mm sin presencia de fisuras, 3.37 E-3 mm y -9.58 E-4
mm con presencia de fisuras.

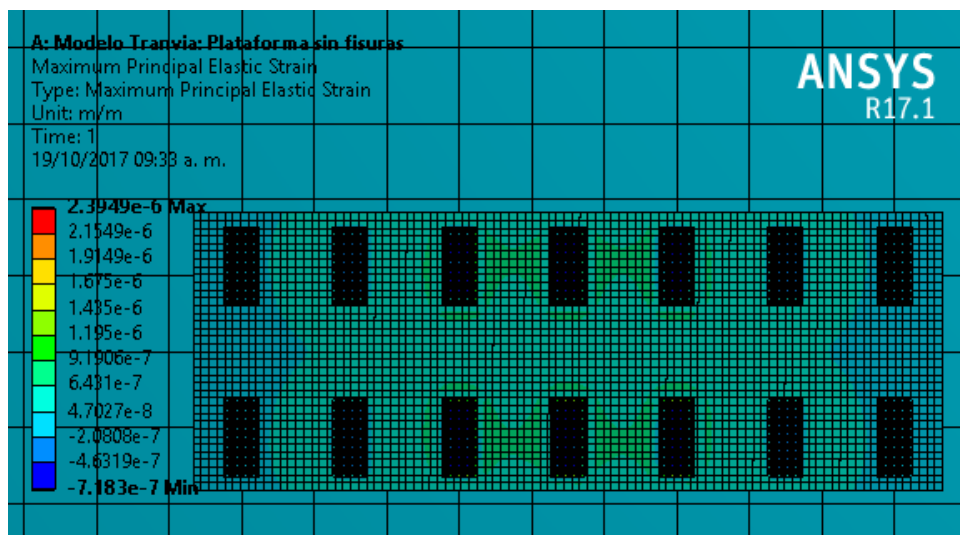


Figura 67. Deformación por tensión en plataforma sin fisuras

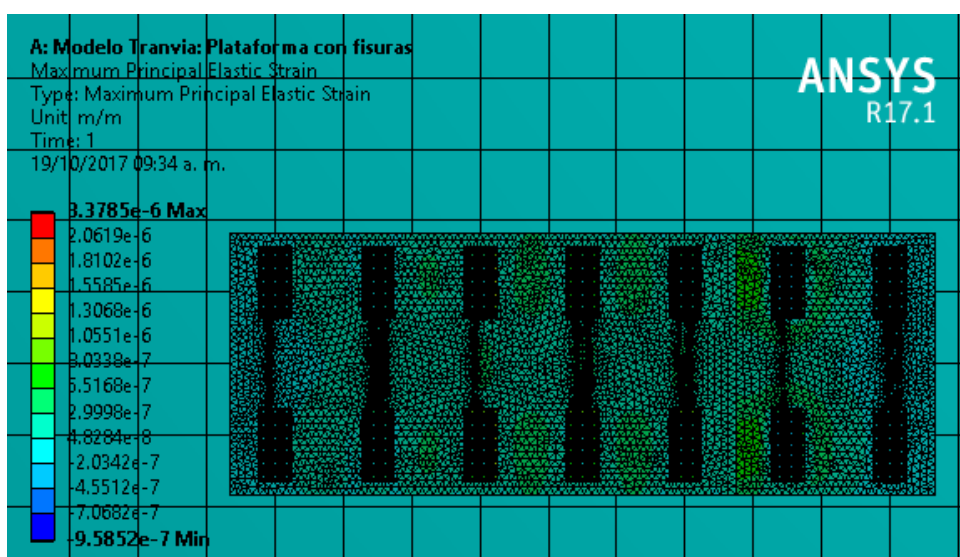


Figura 68. Deformación por tensión en plataforma con fisuras

- **Cortante máxima obtenida:**

Para la plataforma sin afección por fisuras se obtuvieron valores máximos y mínimos de cortante de 245 000 Pa y 0 Pa, y para plataforma con afección 208 000 Pa y 0 Pa. En las figuras siguientes se muestran las dos situaciones.

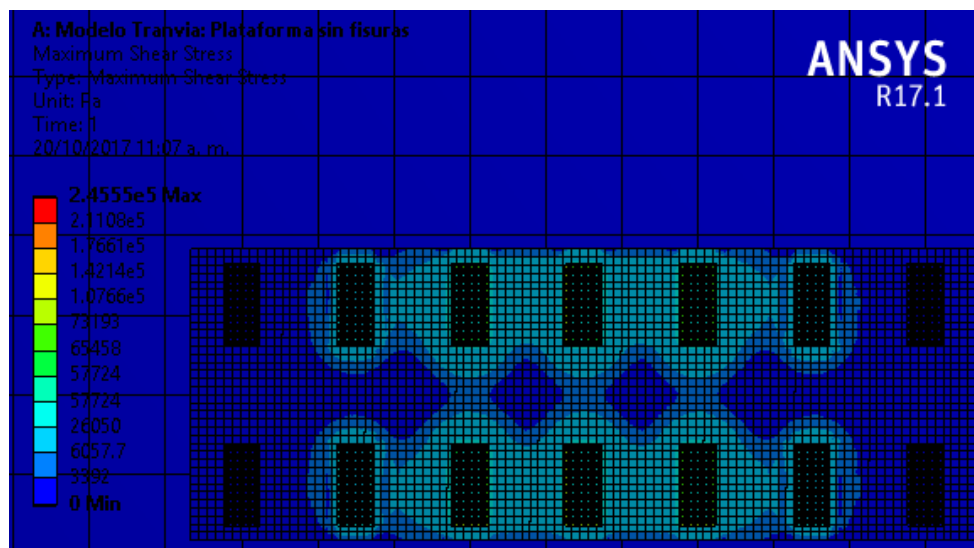


Figura 69. Cortante en plataforma sin fisuración

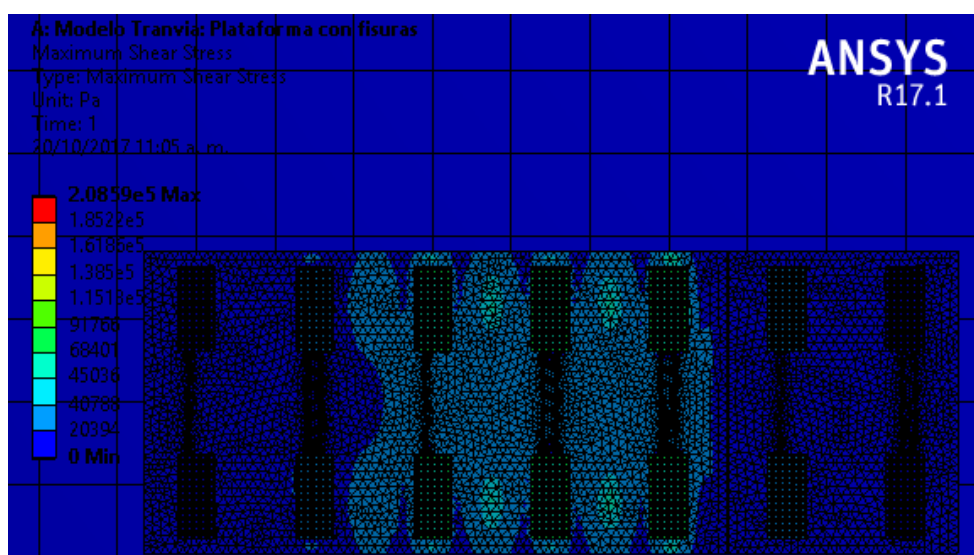


Figura 70. Cortante en plataforma con fisuración

Los valores de deformación obtenidos para la cortante máximo principal fueron: 1.93 E-2 mm y 0 mm sin presencia de fisuras, 8.51 E-3 mm y 0 mm con presencia de fisuras.

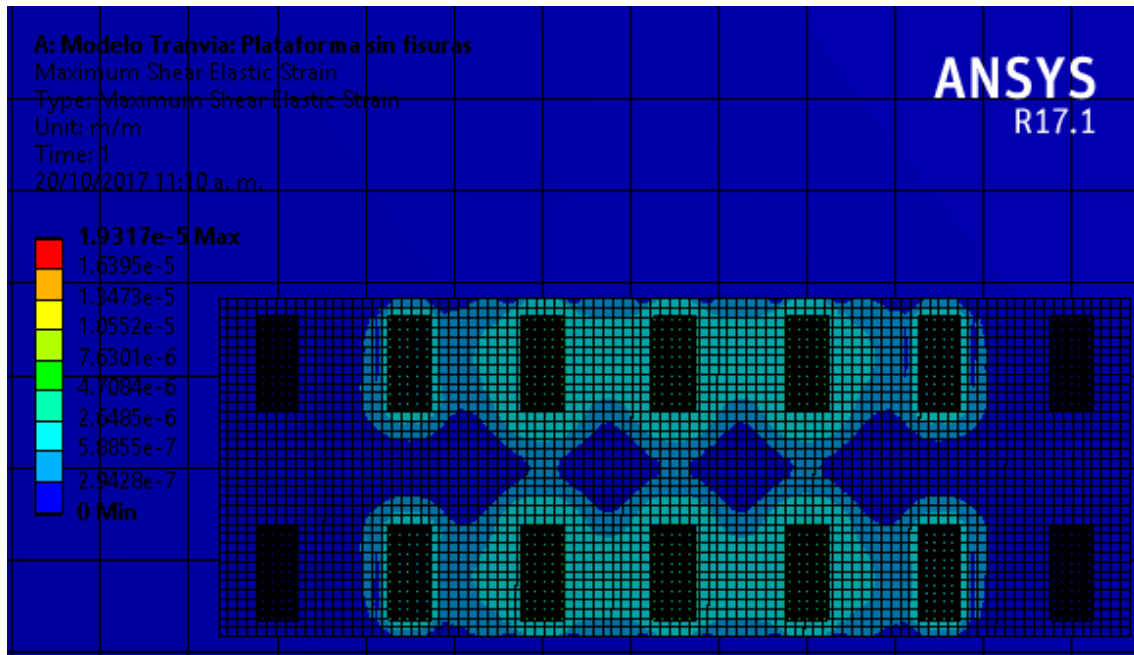


Figura 71. Deformación por cortante en plataforma sin fisuras

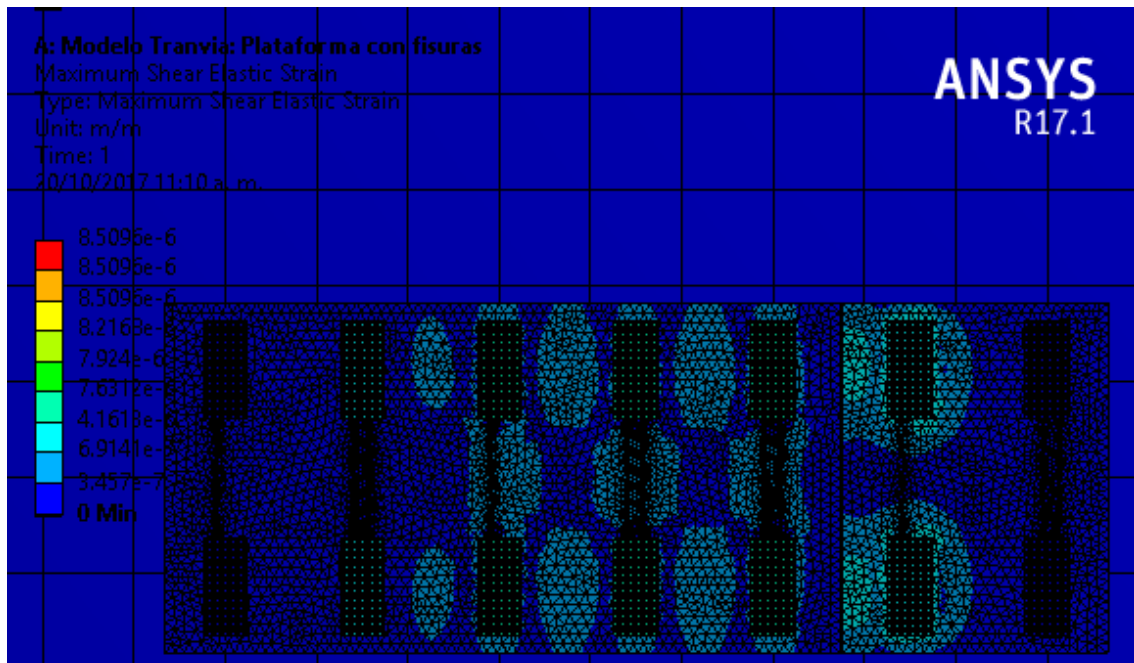


Figura 72. Deformación por cortante en plataforma con fisuras

- **Deformación total:**

Para la plataforma sin afección por fisuras se obtuvieron valores máximos y mínimos de deformación total de 1.46 E-3 mm , y para plataforma con afección 9.19 E-4 mm . En las figuras siguientes se muestran las dos situaciones.

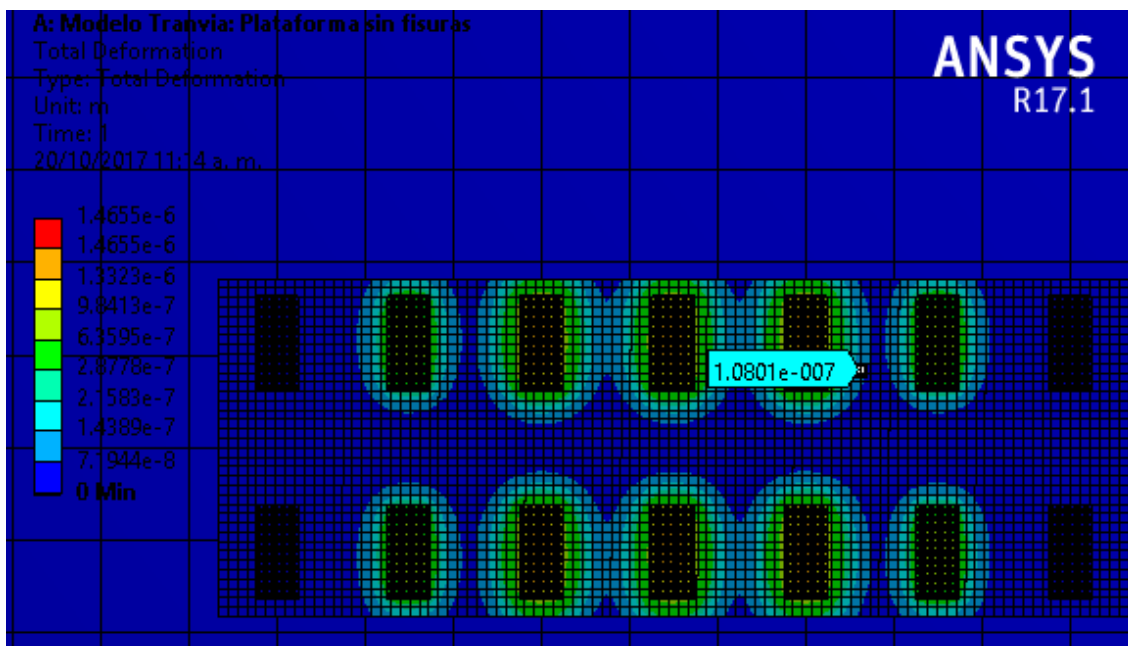


Figura 73. Deformación total plataforma sin fisuras

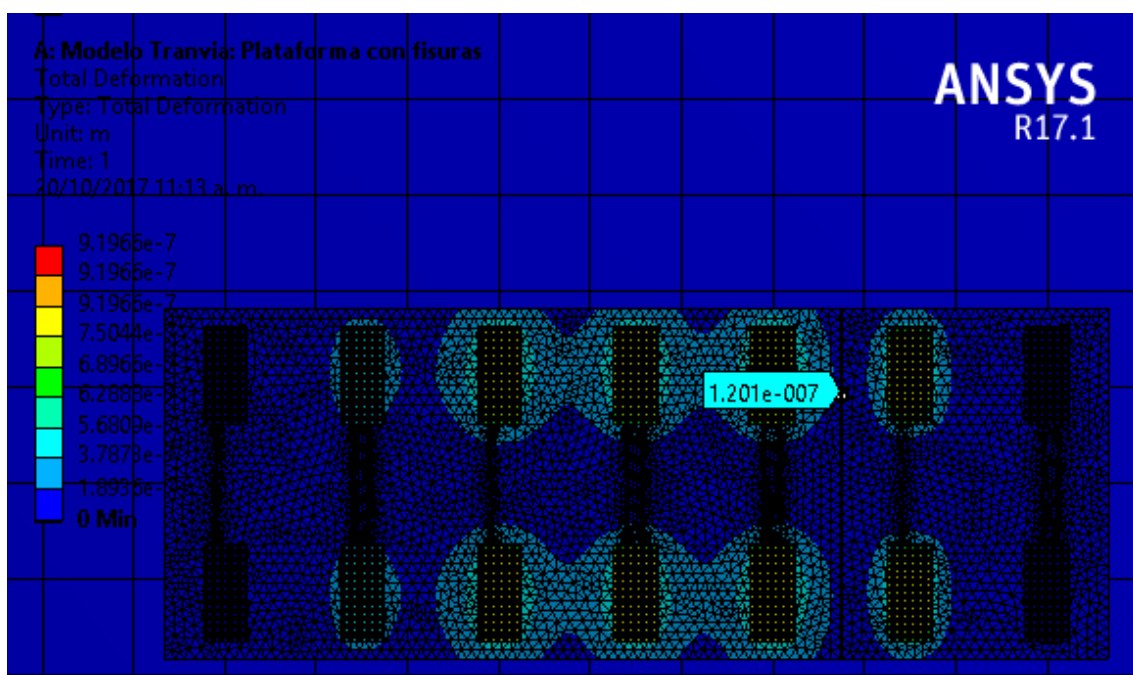


Figura 74. Deformación total plataforma con fisuras

Cuando la plataforma se encuentra cargada al extremo y al centro para el caso de losa con fisuras, la tensión máxima es aproximadamente cinco veces mayor que la tensión máxima obtenida para la losa sin fisuras. Los cortantes obtenidos para las dos situaciones de losa no presentan una diferencia tan marcada.



Además se puede observar que en las zonas donde las fisuras son pasantes la plataforma deja de ser monolítica y trabaja como dos cuerpos separados, generándose así mayores deformaciones por tensión y cortante que las que ocurren en el modelo considerado sin fisuración (cargas al extremo). Se puede observar que la distribución de deformaciones pierde uniformidad en el modelo que presenta fisuras debido a que divide al cuerpo en dos, por lo cual en el modelo se genera mayor deformación por cortante en la losa sin fisuras (cargas al centro).

6. CONCLUSIONES.

Las fisuras que presentan las losas entre las durmientes bi-bloque, se deben a un recubrimiento insuficiente sobre las riostras y que éstas no se encuentran paralelas respecto a la superficie de la losa de base, esto se puede evidenciar en el registro fotográfico de la evaluación visual. En cuanto a las fisuras que se han generado en los puntos intermedios de travelaje, estas son generadas por la falta de acero de refuerzo longitudinal y por la contracción debido a gradientes de temperatura diarios.

En base a los esquemas de fisuras se pudo observar que todas las losas presentan fisuración, donde se identificaron que existen dos tipos de fisuras. Las fisuras que se han generado sobre las riostras son del tipo pasivas y las que se encuentran en los puntos intermedios de travelaje son del tipo activas.

De las pruebas de ultrasonido realizadas sobre la plataforma de rieles para la evaluación de la calidad del hormigón, se obtuvo que el 69.7% presenta un estado “Muy Pobre” según el criterio de Leslie-Cheesman y según el criterio de Agraval el 74.2% se encuentra en un estado “Pobre”, estos valores son un indicador claro de que el hormigón presenta alteraciones en su interior debido a ineficiencias constructivas (falta de vibrado, un curado inadecuado o exceso de agua para facilitar su colocación).

Del análisis de esclerometría el cual sirve para dar un diagnostico preliminar nos indica que el hormigón presenta una adecuada resistencia para realizar intervenciones, pero se debe considerar que los valores obtenidos solo son una estimación de la resistencia a compresión real del hormigón.

En base a las pruebas de profundidad de carbonatación se tiene que existe un riesgo de corrosión en las riostras ya que la baja de pH máxima alcanza el 70% del recubrimiento. Para evitar el problema de corrosión a futuro sería adecuado realizar un tratamiento a base de inhibidores de corrosión y sellar las fisuras con inyección de micro cementos o epoxi a presión.

De la curva de vida remanente obtenida mediante el modelo de la raíz cuadrada del tiempo, se puede observar que el frente de carbonatación medido hasta el 2017 ha avanzado al 70% del recubrimiento (7mm), quedándole por avanzar el 30% del recubrimiento, lo que le da a las zonas sobre riostras una vida remanente de 4 años (hasta el año 2021) antes de empezar a corroerse el acero de separación de las traviesas bi-bloque, se debe tener en cuenta que el hormigón es relativamente nuevo y genera un valor de vida remanente alejado del real.

De los resultados obtenidos en la modelación se puede ver que al analizar la plataforma sin presencia de fisuras, los valores de tensiones máxima alcanzadas fueron 33 000 Pa y -63 000 Pa aproximadamente para los casos de cargas en el centro y extremo, lo cual indica que la plataforma sin fisuras se comporta estructuralmente bien, ya que los esfuerzos y deformaciones alcanzadas son similares. Por otro lado, al analizar la plataforma con presencia de fisuras los valores de tensiones máximas que se alcanzaron



fueron de 165 00 Pa y -172 000 Pa para el caso de cargas al extremo, y para el caso de cargas en el centro se obtuvieron 163 000 Pa y -256 000 Pa. De lo anterior se puede observar que la presencia de fisuras aumentaría los valores de tensiones, provocando además que la plataforma no trabaje de igual manera al estar cargada al extremo o centro de la losa. Por lo cual se puede concluir que la plataforma en el caso que presenta fisuras pierde su monolitismo dejando de existir una correcta distribución de las cargas, provocando que este trabaje como dos cuerpos.



7. RECOMENDACIONES

Como una de las recomendaciones más importantes, se debería considerar restablecer el monolitismo de las losas para que exista una mejor distribución de esfuerzos y así evitar que la plataforma trabaje como dos cuerpos debido a las fisuras en puntos medios de travelaje, y reestablecer los parámetros de diseño y sollicitación de esfuerzos originales.

Se debería profundizar el análisis del hormigón con pruebas de densidad y porosidad, ya que se evidenció que el bordillo GLO está compuesto de un hormigón poroso debido a una inadecuada vibración, lo cual genera la incertidumbre de que las losas puedan encontrarse bajo esta misma situación.

Sería conveniente tratar las fisuras activas con un relleno mediante sellante elástico y las fisuras pasivas mediante inyección de resina epóxica o micro-cemento.

Se recomendaría tener un adecuado control de la manipulación del hormigón cuando se realiza el colado in situ, para no alterar sus características de durabilidad y resistencia.

Sería recomendable realizar extracción de núcleos en las zonas donde los valores de esclerometría son bajos, para realizar ensayos a compresión y verificar las resistencias del hormigón.

Para obtener una curva de vida remanente real sería adecuado realizar pruebas de la profundidad de carbonatación cuando la plataforma se encuentre expuesta a la acción del CO₂ por un periodo mayor, tomar en cuenta que la plataforma está ubicada en una zona con un alto nivel de tráfico.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Andrade, C. (2002). Vida útil de estructuras de hormigón armado: obras nuevas y deterioradas. In *III CONGRESO IBEROAMERICANO DE PATOLOGIA DE LA CONSTRUCCION YV CONGRESO DE CONTROL DE LA CALIDAD*.
- ASTM C 597. (2010). Pulse Velocity Through Concrete, 52–55. <https://doi.org/10.1520/C0597-09>
- ASTM C 805. (2013). Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete, 14, 1–3. Retrieved from <http://civilengineerspk.com/wp-content/uploads/2014/09/C805.pdf>
- Badilla Eyherregaray, V. (2014). *CORRELACIÓN DE DIFERENTES MÉTODOS DE DETECCIÓN NO DESTRUCTIVOS DE ANOMALÍAS EN EL HORMIGÓN*. Universidad Politécnica de Catalunya. Retrieved from https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/21499/Valeria_Badilla_TFM.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Barlow et al. (1993). Barlow Et Al.
- Carvajal, A., Silva, C., Valiente, J., & Venegas, A. (2007). Efectos de La carbonatación acelerada en distintos tipos de cemento y hormigones. *Revista de La Construcción*, 6(1).
- Chaves, E. (2011). *Introducción al ANSYS*. Ciudad Real. Retrieved from <https://previa.uclm.es/profesorado/evieira/ftp/apuntes/ansys9.pdf>
- Cianfrone, F., & Facca, I. (1979). Study on the introduction into Italy on the combined non-destructive method, for the determination of in situ concrete strength. *Materials and Construction*, 12(5), 413–424.
- Diez, D. M., Barr, C. D., & Çetinkaya-Rundel, M. (2015). OpenIntro Statistics. OpenIntro. Inc.
- Fernández, C. S. (2013). Resistencia del hormigón mediante esclerómetro, ensayo y valores de f'c. Retrieved from <https://www.patologiasconstruccion.net/2013/11/resistencia-del-hormigon-mediante-esclerometro-o-indice-de-rebote-1/>
- Fransesqui García, M. Á. (2011). *Evaluación de la profundidad de la fisuración superficial descendente en pavimentos asfálticos mediante técnicas de ultrasonidos. Validación teórico-práctica y modelos*. Universidad Politécnica de Madrid. Retrieved from http://oa.upm.es/11372/1/Miguel_Angel_Franchesqui_Garcia.pdf
- GAD. (2016). *Plano de detalle - Vía en línea* (Vol. 593). Cuenca.
- Galán García, I. (2011). *Carbonatación del hormigón: Combinación de CO2 con las fases hidratadas del cemento y frente de cambio de PH*. UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID. Retrieved from <http://eprints.ucm.es/14424/1/T33374.pdf>
- García Medina, V. (2013). *Ultrasonidos: Técnica no destructiva para el estudio de monumentos*. Universidad de Sevilla. Retrieved from <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/20370/fichero/Proyecto+Final+cd.pdf>
- GME CITA. (2015a). *Especificaciones Técnicas para el Hormigón* (Vol. 593). Cuenca.
- GME CITA. (2015b). *Nota técnica justificativa de cálculo de la losa de vía (losa flotante)* (Vol. 593). Cuenca.
- GME CITA. (2016). *Especificaciones generales de la vía* (Vol. 593). Cuenca.
- Grantham, M. (2003). Diagnosis, inspection, testing and repair of reinforced concrete structures. *Advanced Concrete Technology*, 2, 1–54.



- Guillermo Realpe. (2016). Metodos de ensayo in situ utilizados en la evaluación de estructuras de hormigón armado. Retrieved from <http://www.camicon.ec/wp-content/uploads/2015/11/ENSAYOS-NO-DESTRUCTIVOS-EN-LA-EVALUACIÓN-DEL-HORMIGÓN.pdf>
- Halvorsen, G. T., Barlow, P., Fowler, D. W., Barth, F., Hansen, W., Boggs, H. L., ... Liu, T. C. (1993). Causas , Evaluación y Reparación de Fisuras en Estructuras de Hormigón Informado por el Comité ACI 224.
- Helene, P., & Pazini Figueiredo, E. (2003). *Manual De Rehabilitación De Estructuras De Hormigón - Reparación, Refuerzo Y Proteccion*. (P. Helene & F. Pereira, Eds.). Sao Paulo. Retrieved from <http://www.mediafire.com/download/5hxazxnc5e8ce0e/Manual-Rehabilitacion-de-Estructuras-Hormigon-Reparacion-Refuerzo.pdf>
- Izcally, C. (2010). *La Prueba De Ultrasonido*. Universidad Nacional Autónoma de México. Retrieved from http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m6/PR UEBA DE ULTRASONIDO.pdf
- Kern, S. (2003). *The culture of time and space, 1880-1918: with a new preface*. Harvard University Press.
- Longnecker, M., & Lyman Ott, R. (2010). *An introduction to statistical methods and data analysis*. (Brooks/Cole, Ed.), *Isbn-13* (Sixth Edit). Texas A&M University.
- Miguitama F, B. I., Segarra V, M. J., Fierro G, J. A., & Mogrovejo C, D. E. (2017). Implementación de Curvas de calibración esclerométricas para hormigones convencionales de las Hormigoneras más Importantes del Austro. *Paper Aceptado Vol. 8. No.2 Diciembre 2017*, pp. 1–10. Cuenca.
- Mogrovejo C., D. E. (2017). Evaluación de la Condición de la Infraestructura, Ingeniería forense. Apuntes de clase. Universidad de Cuenca.
- Monroy Martin, R. N. (2007). *PATOLOGIAS EN ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO APLICADO A MARQUESINA DEL PARQUE SAVAL*. Universidad Austral de Chile. Retrieved from <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/bmfcim753p/doc/bmfcim753p.pdf>
- Morales Kallina, R. A. (2007). *PLAN DE MONITOREO PARA LA MANTENCIÓN DE ESTRUCTURAS MARÍTIMAS DE HORMIGÓN ARMADO*. Universidad de Chile. <https://doi.org/10.4067/S0071-17132000003500023>
- Municipalidad de Cuenca. (2015). Plan de Movilidad y Espacios Públicos. Cuenca. Retrieved from http://www.cuenca.gob.ec/sites/default/files/PMEP_CentroHistorico.pdf
- NTE INEN 1762. (2015). HORMIGÓN. DEFINICIONES Y TERMINOLOGÍA.
- NTE INEN 1855-2. (2015). HORMIGONES. HORMIGÓN PREPARADO EN OBRA. REQUISITOS.
- NTE INEN 3121. (2016). Determinación del número de rebote. Método de ensayo. Retrieved from http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/05/nte_inen_3121.pdf
- Ortega, N. F., & Señas, L. (2007). Empleo de Ultrasonidos y Esclerometría en el diagnóstico de estructuras de hormigón afectadas por elevadas temperaturas. Retrieved from <http://www.ndt.net/article/panndt2007/papers/37.pdf>
- Pellicer Ilopis, V. (2014). *Ensayos no destructivos en hormigón. Georadar y ultrasonidos*. Universidad Politecnica de Valencia. Retrieved from



https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/35207/PROYECTO_DEFINITIVO.pdf?sequence=1

Porto Quintian, J. M. (2005). Patologías en las estructuras de hormigón armado. In *Patologías en las estructuras de hormigón armado* (pp. 1–103).

proceq. (2016). Manual de operación SilverSchmidt y Hammerlink. Retrieved from www.proceq.com

RILEM, R. (1988). CPC-18 Measurement of hardened concrete carbonation depth.

Rojas Kein, L. A. (2006). *ESTUDIO DE LA DURABILIDAD DE ESTRUCTURAS ANTIGUAS DE HORMIGÓN ARMADO, CON ÉNFASIS EN LA CORROSIÓN DE LAS ARMADURAS*. UNIVERSIDAD DE CHILE. Retrieved from http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2006/rojas_l/sources/rojas_l.pdf

Sitio oficial ANSYS. (2017). Retrieved from <http://www.ansys.com/>

SMTC ARTELIA. (2016). *Informe sobre fisuras en la losa de tranvía*. Cuenca.

Solís Carcaño, R. G., Moreno, É. I., & Castillo Pak, W. R. (2004). Predicción de la resistencia del concreto con base en la velocidad de pulso ultrasónico y un índice de calidad de los agregados. *Ingeniería*, 8(2), 41–52. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Romel_Solis/publication/237035069_Prediccion_de_la_resistencia_del_concreto_con_base_en_la_velocidad_de_pulso_ultrasonico_y_un_indice_de_calidad_de_los_agregados/links/5687e23008aebccc4e153994.pdf

Song, H.-W., Kwon, S.-J., Byun, K.-J., & Park, C.-K. (2006). Predicting carbonation in early-aged cracked concrete. *Cement and Concrete Research*, 36(5), 979–989.

Tranversa, L. . (2011). *PROBLEMÁTICA DEL PATRIMONIO MODERNO REINFORCEMENT CORROSION IN CONCRETE : A PROBLEM OF MODERN HERITAGE*. La Plata, 2011.

Traversa, I. L. P., Villagrán, I. Y. A., Di Maio, I. A. A., & Zicarelli, I. S. S. (2006). *Métodos De Evaluación Y Diagnóstico De La Vida Útil Remanente De Estructuras De Hormigón Armado En Ambiente Marino*. La Plata. Argentina.

Uller, L., Trocblis, O., Alanis, I., Helene, P., Mejías de Gutierrez, R., & O'Reilly, V. (1997). *Manual de inspección, evaluación y diagnostico de corrosión en estructuras de hormigón armado* (ISBN 980-2). Río de Janeiro,.

Vizuite Palacios, J. E., Yanzapanta, M., & Guillermo, Á. (2013). *Estudio Técnico de un Sistema Integral de Revisión Vehicular en la ESPOCH*.

9. ANEXOS

9.1. ANEXO 1. Nota Técnica juntas en la vía de hormigón



NOTA TECNICA
JUNTAS VIAS DE HORMIGON
DE TIPO 0dBv O -10dBv
TRANVIA de CUENCA

1 INTRODUCCION

La posición de las juntas en las capas de fundación o de base son definidas tomando en cuenta las enseñanzas de los proyectos hechos por Egis. Estas juntas son adaptadas a las condiciones ambientales de Cuenca.

2 JUNTAS EN LA CAPA DE FUNDACION

Las juntas son necesarias para evitar las fisuras en el hormigón.

Ce hacen cada 27m haciendo transversalmente y perpendicularmente a la vía:

- O Una junta física de la altura de la capa de fundación (puede corresponder por ejemplo un fin de hormigonado)
- O un corte de 1/3 del espesor de la capa de fundación y según las recomendaciones del DTU 13.3/NF P213-2 y anexo A1.

3 JUNTAS EN LA CAPA DE VIA

Las juntas son necesarias para evitar las fisuras en el hormigón.

Ce hacen cada 27m haciendo transversalmente y perpendicularmente a la vía:

- O Una junta física de la altura de la capa de base (puede corresponder por ejemplo a un fin de hormigonado)
- O un corte de 1/3 del espesor de la capa de base (ese corte no se hace debajo de cada riel) y según las recomendaciones del DTU 13.3/NF P213-2 y anexo A1.

Ce hacen cada 9m haciendo transversalmente y perpendicularmente a la vía:

- O un corte de 1/3 del espesor de la capa de base (ese corte no se hace debajo de cada riel) y según las recomendaciones del DTU 13.3/NF P213-2 y anexo A1.

No es necesario de poner las juntas de la capa de base coincidente con las juntas de la capa de fundación

Si el acabado es vegetal o permeable las juntas se acababan al nivel de la capa de base y se protegen poniendo un material de estanqueidad (por ejemplo de tipo bituminosa) para evitar las infiltraciones en las juntas.

9.2. ANEXO 2. Hoja técnica – Cemento de alta resistencia inicial tipo HE

Especificaciones Técnicas

Cemento Holcim Premium

Tipo HE

Requisitos Químicos

No se especifica la composición química para el cemento. Sin embargo, el cemento debe ser analizado para propósitos informativos.

Requisitos Físicos:

	INEN 2380	Valor referencial
Cambio de longitud por autoclave, % máximo	0.80	-0.024
<i>Tiempo de fraguado, método de Vicat</i>		
Inicial, no menos de, minutos	45	149
Inicial, no más de, minutos	420	149
Contenido de aire del mortero, en volumen, %	A	1.8
<i>Resistencia a la Compresión, mínimo MPa</i>		
1 día	12	15
3 días	24	25
7 días	A	31
28 días	A	40
Expansión en barras de mortero 14 días, % max.	0.02	-0.145

Nota:

1. La información que consta en el cuadro técnico corresponde al promedio de los datos obtenidos en el periodo en curso. Los datos son del cemento típico despachado por Holcim;

los despachos individuales pueden tener variaciones.

2. (A) Límite no especificado por la NTE INEN 2380. Resultado reportado sólo como información.

I .

Calidad

Los cementos para uso general (HE) cuyas características contempladas en la Norma INEN 2380, especifican que por su desempeño son aptos para todo tipo de estructura de hormigón donde se requieran ser puestas en servicio rápidamente y, adicionalmente se aplican en la construcción de estructuras masivas, portuarias, pavimentos, puentes, etc.

Nuestro Cemento Holcim Premium tipo HE es un producto de calidad premium que supera ampliamente los requisitos establecidos en la Norma NTE INEN 2380, brindando seguridad y confianza al constructor en la aplicación del mismo en sus obras.

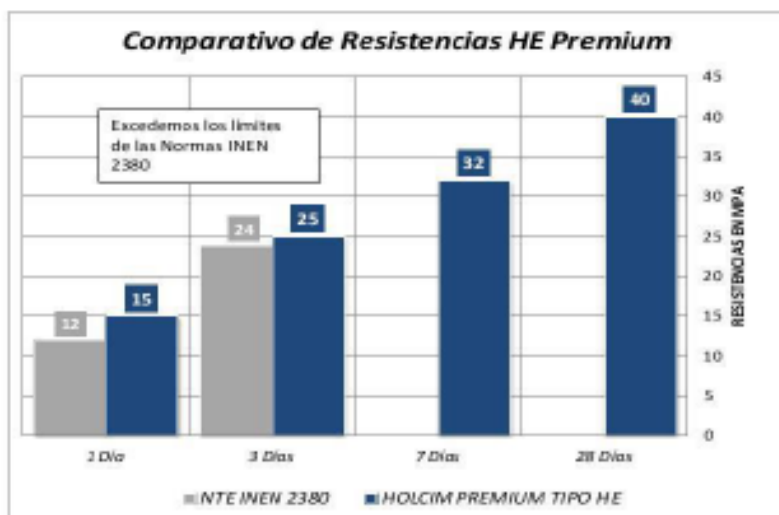
Resistencia

El desarrollo de resistencia en el hormigón de cemento pòrtland se debe a un número de factores tales como las características físicas y propiedades químicas del cemento, la relación agua cemento

(a/c), relación de cemento/agregado, granulometría, textura superficial, forma, tamaño, resistencia y rigidez de las partículas del agregado, así como el uso de aditivos, condiciones de curado y del medio ambiente.

La razón de rápida ganancia de resistencia no deben en ningún caso confundirse con la razón de rapidez de fraguado; en efecto, cementos comunes de uso general y cementos de alta resistencia inicial pueden tener tiempos de fraguado similares, sin embargo sus resistencias tempranas diferirán, ya que la de un cemento Tipo HE serán superiores.

Por su adecuada formulación el cemento Holcim Premium tipo HE, permite elaborar hormigones en obras que demandan altas resistencias iniciales a la compresión. Cabe señalar que nuestro cemento Holcim Premium tipo HE produce resistencias a la compresión superiores a las especificadas en la Norma NTE INEN 2380.



Ventajas

- Alta resistencia inicial.
- Resistencias a la compresión superiores a las especificadas en la norma NTE INEN 2380.
- Mejora la trabajabilidad de las mezclas y reduce la segregación y exudación.
- Reduce el calor de hidratación y por consiguiente la tendencia a la fisuración.
- Buen desempeño de fraguado y resistencia, adecuada para la construcción de obras viales y edificaciones.
- Proporciona resistencia química moderada al agua de mar, difusión de cloruros y ataque de sulfatos, lo que aumenta la durabilidad.
- Menor permeabilidad y estructuras más densas.
- Ahorros significativos en el consumo de cemento por metro cúbico de hormigón.
- En el caso de vías, rápida puesta en uso, cortos periodos de bloqueo de vías en zonas de abundante tráfico.

9.3. ANEXO 3. Diseño de hormigón hidráulico

Holcim
Control de Calidad
Planta Cuenca

Diseño de Hormigón Hidráulico

Para : Arq. Edgar Andrade
 Cliente : CIM-TSO
 Obra : Provisión, Instalación y Asistencia a la Puesta en Servicio del Sistema de Tranvía Cuatro Ríos de Cuenca
 atf :
 Copia a : Archivo
 f'c especificada a la compresión : 210 kg/cm² Hormigón Vertido Directo y/o Bombeo
 Tipo : F' C 210 KG/CM2 R28 Y 15CM HOR. Cof :
 Elemento :
 Asentamiento (mm) : 15+-4 cm según norma A.S.T.M. C-34 tolerancia en los asentamientos
 Fecha de entrega : ene-2015

NOTA : Resistencia a la compresión a 28 Días

Método utilizado para el diseño : A.C.I. 211

Dosificación para 1 m³ de hormigón

	Tipo HE			PROPUESTO
Cemento				318 kg
Piedra triturada 19 mm				943 kg
Piedra zarandeada 19 mm				0 kg
Arena de trituración				0 kg
Arena natural de Río				791 kg
Agua				190 litros
Aditivo por peso del cemento	Basf	Polyhead SI 719	1.66% Planta	5.09 kg
	Basf	Rheobuild 180	0.88% Obra	2.84 kg
R a/c =				

Nota : Resistencia a la Compresión de f'c=21 Mpa y Resistencia a Tracción Diametral T> 2.0 Mpa
 De requerirse incrementar el asentamiento en obra para la descarga del producto se adicionará aditivo en obra
 Dosificación de aditivo en obra por parte del cliente se acordará previamente

Atentamente

 Ing. Pablo Orbe
 Control de Calidad



Holcim
Control de Calidad
Planta Cuenca

Diseño de Hormigón Hidráulico

Para: Arq. Edgar Andrade
 Cliente: CIM-TSO
 Obra: Provisión, Instalación y Asistencia a la Puesta en Servicio del Sistema de Tránsito Cuatro Ríos de Cuenca
 at:
 Copia a: Archivo
 f'c especificada a la compresión: 300 kg/cm² Hormigón Vertido Directo y/o Bomba
 Tipo: R28Y15TMM19 Cod: 10044295
 Elemento:
 Asentamiento (cm): 15+-4 cm según norma A.S.T.M. C-66 tolerancia en los asentamientos
 Fecha de entrega: ene-2015

NOTA Resistencia a la compresión a 28 Días

Método utilizado para el diseño: A.C.I. 211

Dosificación para 1 m³ de hormigón

	Tipo HE			PROPUESTO
Cemento				350 kg
Piedra triturada 19 mm				1010 kg
Piedra zarandeada 19 mm				0 kg
Arena de trituración				0 kg
Arena natural de Río				695 kg
Agua				193 litros
Aditivo por peso del cemento	Red	Polyplast RI 718	1.00% Plasta	3.50 kg
	Red	Rheobuild 100	0.80% Obra	2.80 kg
R a/c =				0.55

Nota: Resistencia a la Compresión de f'c=30 Mpa y Resistencia a Tracción Diametral T> 2.7 Mpa
 De requerirse incrementar el asentamiento en obra para la descarga del producto se adicionará aditivo en obra
 Dosificación de aditivo en obra por parte del cliente se acordará previamente

Atentamente,

Ing. Pablo Orbe
 Control de Calidad



Holcim
Control de Calidad
Planta Cuenca

Diseño de Hormigón Hidráulico

Para: Arq. Edgar Andrade
Cliente: CIM-TSO
Obra: Provisión, Instalación y Asistencia a la Puesta en Servicio del Sistema de Tranvía Cuatro Ríos de Cuenca
At:
Copia a: Archivo
f'c especificada a la compresión: 250 kg/cm² Hormigón Vertido Directo y/o Bombeo
Tipo: R28Y15TMM19 Col: 10044282
Elemento:
Asentamiento (cm): 15+4 cm según norma A-5.1.34, C-35 (asentamiento en los acorramientos)
Fecha de entrega: 2015

NOTA Resistencia a la compresión a 28 Días

Método utilizado para el diseño: A.C.I. 211

Dosificación para 1 m³ de hormigón

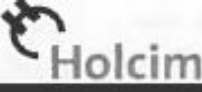
			PROPUESTO
Cemento	Tipo HE		328 kg
Piedra triturada 19 mm			964 kg
Piedra zarandeada 19 mm			0 kg
Arena de trituración			0 kg
Arena natural de Río			762 kg
Agua			192 litros
Aditivo por peso del cemento	Sust	Polyacol RJ 719	1.60% Plástico 5.25 kg
	Sust	Rheobald 199	0.80% Aire 2.62 kg
R a/c =			0.59

Nota: Resistencia a la Compresión de f'c=25 Mpa y Resistencia a Tracción Diametral T> 2.0 Mpa
De requerirse incrementar el asentamiento en obra para la descarga del producto se adicionará aditivo en obra
Dosificación de aditivo en obra por parte del cliente se acordará previamente

Atentamente -

Ing. Pablo Orbe
Control de Calidad

9.4.ANEXO 4. Certificado de producto – Naturaleza de los áridos del hormigón



Doc ID: ACB0-H00-RC25

Revisión: 6

Autor: Técnico de Control de Calidad

Revisa: Coordinador de Control de Calidad

Aproba: Coordinador de Control de Calidad

Cemento de alta resistencia inicial Tipo HE

El Cemento Holcim Premium Tipo HE es un cemento de alta resistencia inicial que se fabrica bajo la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2380. Esta norma establece los requisitos de desempeño que deben cumplir los cementos hidráulicos y los clasifica de acuerdo a sus propiedades específicas.

Especificaciones técnicas	Fecha reporte:	05.01.2015
	Fecha de:	01.12.2014 a 01.01.2015

Requisitos Químicos

La composición química para el cemento no está especificada en la NTE INEN 2380, sin embargo los constituyentes individuales molidos y mezclados para producirlo son analizados.

Requisitos Físicos

	NTE INEN 2380	Valor
Cambio de longitud por autoclave, % máximo	0,80	-0,02
Tiempo de fraguado, método de Vicat		
Inicial, no menos de, minutos	45	
Inicial, no más de, minutos	420	142
Contenido de aire del mortero, en volumen, %	A	3
Resistencia a la Compresión, mínimo MPa		
1 día	12	14,4
3 días	24	26,5
7 días	A	32,8
28 días	A	42,4
Expansión en barras de mortero 14 días, % máx.	0,020	0,002

NOTAS:

- La información que consta en el certificado corresponde al promedio de los datos obtenidos en el periodo indicado. Los datos son del cemento típico despachado por Holcim; los despacho individuales pueden variar.
- La resistencia a 28 días corresponde al promedio del mes anterior.
- (A) Límite no especificado por la NTE INEN 2380. Resultado reportado sólo como información.
- (ND) Resultado del ensayo no disponible para el periodo de análisis indicado.

ALMACENAMIENTO:
Almacenar el cemento en ambientes ventilados, sin humedad y cambios bruscos de temperatura.
Para cemento a granel se debe contar en obra con silos de al menos 30 toneladas (capacidad promedio de camiones graneleros).

Planta Gueyquil

Dirección

Teléfono

Vía a Salinas km 18.5

Gueyquil, Ecuador

593 4 3709000

Servicio al cliente:


Extensiones:

04-370 9000

381065

381067

www.holcim.com.ec



Coordinador de Control de Calidad
Planta Gueyquil
Holcim Ecuador S.A.

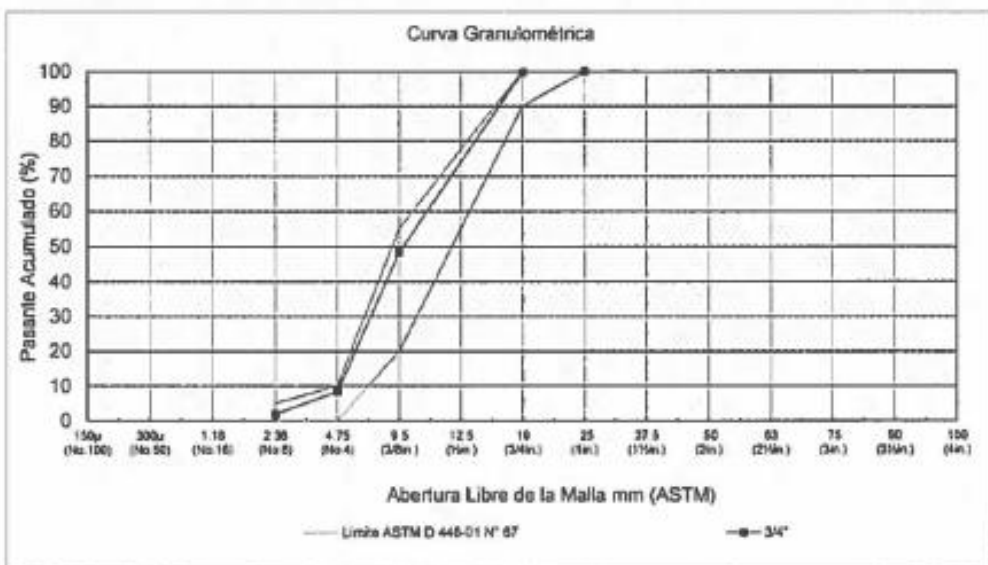


Holcim Ecuador S.A.

Granulometría de Agregado Grueso

KMAT-H00-RC05

Planta:	Cuenca				
Agregado:	3/4"	Triturado	Fecha de Muestreo:	2015-01-23	
Fuente:	Mina Heredia (Sta. Isabel)		Fecha de Ensayo:	2015-01-29	
Masa inicial (g):	6084		Realizado Por:	RC	
Tamiz		Retenido Parcial (g)	Retenido Parcial (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante Acumulado (%)
INEN	ASTM				
100 mm	4 in.	---	---	---	---
90 mm	3 1/2 in.	---	---	---	---
75 mm	3 in.	---	---	---	---
63 mm	2 1/2 in.	---	---	---	---
50 mm	2 in.	---	---	---	---
37.5 mm	1 1/2 in.	---	---	---	---
25 mm	1 in.	0.0	0	0	100
19 mm	3/4 in.	14.0	0	0	100
12.5 mm	1/2 in.	---	---	---	---
9.5 mm	3/8 in.	3138.2	52	52	48
4.75 mm	No. 4	2422.6	40	92	8
2.36 mm	No. 8	393.7	6	98	2
1.18 mm	No. 16	---	---	---	---
300 µm	No. 50	---	---	---	---
150 µm	No. 100	---	---	---	---
Bandeja		115.5	2	100	0
Masa final (g):	6084.0	Módulo de Finura		6.38	
Pérdida ≤0.5%:	Ensayo válido				



Responsable:

Ing. Pablo Ordoñez
Control de Calidad

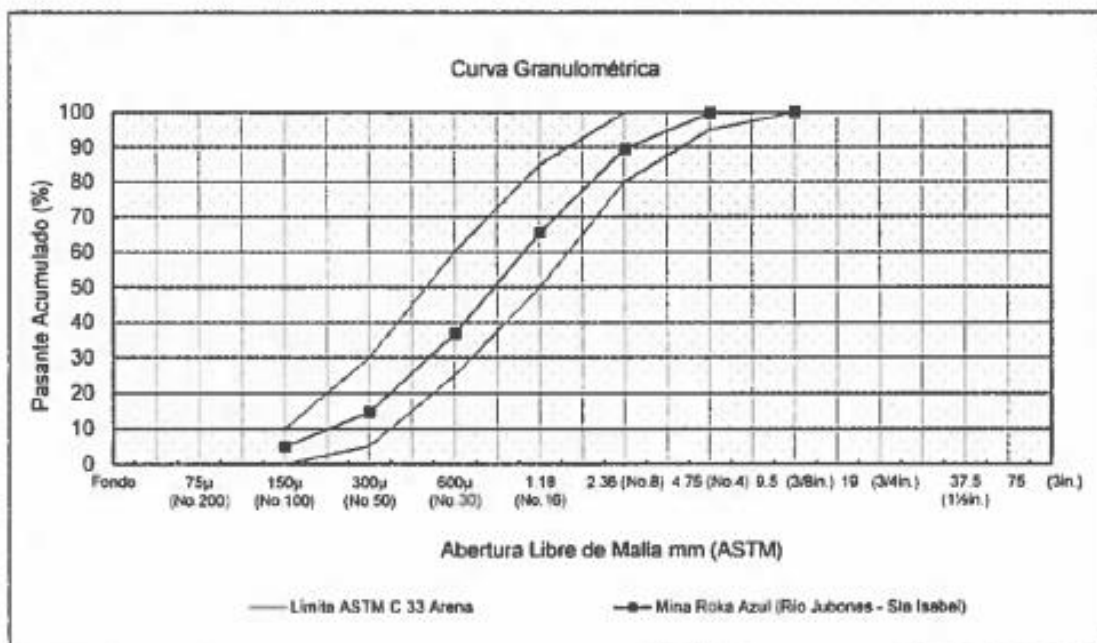


Holcim Ecuador S.A.

Granulometría de agregado fino

KMAT-H00-RC04

Planta:		Cuenca			
Agregado:		Arena Río		Muestreo fecha:	2015-01-16
Fuente:		Mina Roka Azul (Río Jubones - Sta Isabel)		Ensayo fecha:	2015-01-22
Masa inicial (g):		858.2		Realizado por:	RC
Tamiz		Retenido	Retenido	Retenido	Pasante
INEN	ASTM	Parcial (g)	Parcial (%)	Acumulado (%)	Acumulado (%)
9,50 mm	3/8 in.	0.0	0	0	100
4,75 mm	No. 4	2.3	0	0	100
2,36 mm	No. 8	88.2	10	11	89
1,18 mm	No. 16	206.5	24	35	65
600 µm	No. 30	245.6	29	63	37
300 µm	No. 50	190.0	22	85	15
150 µm	No. 100	83.7	10	95	5
Bandeja		41.7	5	100	0
Masa final (g):		858.0	Módulo de Finura :	2.89	
Pérdida ≤0.3%		Ensayo válido			



Responsable:

Ing. Pablo Ordoñez
Control de Calidad

9.5. ANEXO 5. Características técnicas de aditivos utilizados



MasterRheobuild 1000

Antes: RHEOBUILD 1000

Aditivo superplastificante / reductor de agua de alta actividad para hormigón.

CAMPO DE APLICACIÓN

MasterRheobuild 1000 es un aditivo superplastificante reductor de agua de alta actividad indicado para los sectores del hormigón prefabricado, obra civil y hormigón para túneles (hormigón proyectado y hormigonado de túneles). Por sus características, permite la confección de hormigones líquidos partiendo de consistencias secas sin la necesidad de adicionar más agua de amasado y sin provocar retrasos de fraguado, ofreciendo elevadas resistencias iniciales sin pérdida de resistencias finales.

Especialmente diseñado para:

- Hormigón prefabricado de todo tipo (armado, pretensado y postensado).
- Hormigón para obra civil de elevadas prestaciones.
- Hormigón proyectado.
- Hormigonado de túneles.

Consultar con el Departamento Técnico cualquier aplicación no prevista en esta relación.

PROPIEDADES

- Elevado poder plastificante.
- Mejora las resistencias iniciales y finales del hormigón.
- Mejora la impermeabilidad y la durabilidad del hormigón.
- No provoca retrasos de fraguado.

MODO DE UTILIZACIÓN

En las plantas amasadoras, MasterRheobuild 1000 debe adicionarse juntamente con la última parte del agua de amasado. No debe adicionarse sobre cemento o áridos secos. Puede adicionarse a pie de obra directamente al camión hormigonero, asegurando un tiempo de mezclado suficiente para su perfecta homogeneización.

Para más información, consultar la Hoja de seguridad del producto.

DOSIFICACIÓN

La dosificación habitual se encuentra entre el 0,5% y el 2% sobre peso de cemento según incremento de trabajabilidad y reducción de agua deseada. Dosificaciones superiores son posibles para la obtención de hormigones de elevada fluidez y elevada resistencia.



Se recomienda en cada caso realizar los ensayos oportunos para determinar la dosificación óptima.

LIMPIEZA DE HERRAMIENTAS

Los equipos y herramientas sucias de MasterRheobuild 1000 pueden limpiarse simplemente con agua.

PRESENTACIÓN

MasterRheobuild 1000 se presenta a granel en cisternas, en contenedores de 1200 Kg y en gamales de 30 Kg.

CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO/ TIEMPO DE CONSERVACIÓN

Almacenar en sus envases originales herméticamente cerrados y protegidos de temperaturas extremas. Evitar su congelación. Almacenado correctamente, MasterRheobuild 1000 puede conservarse hasta 12 meses.

MANIPULACIÓN Y TRANSPORTE

Para su manipulación deberán observarse las medidas preventivas usuales para el manejo de productos químicos, por ejemplo usar gafas y guantes. Lavarse las manos antes de una pausa y al término del trabajo. No comer, beber y fumar durante la aplicación.

La eliminación del producto y su envase debe realizarse de acuerdo con la legislación vigente y es responsabilidad del poseedor final.

Para más información, consultar la Hoja de Seguridad del producto.

MasterRheobuild 1000
Página 1 de 3
Edición: 01/02/2014

MASTER®
» BUILDERS
SOLUTIONS



MasterRheobuild 1000

Antes: RHEOBUILD 1000

Aditivo superplastificante / reductor de agua de alta actividad para hormigón.

HAY QUE TENER EN CUENTA

Se recomienda siempre la realización de ensayos previos a la utilización del aditivo.

No emplear dosificaciones inferiores ni superiores a las recomendadas sin previa consulta con el Departamento Técnico.

Consulte la compatibilidad entre aditivos antes de su utilización.

Propiedades	
Función principal:	Superplastificante / Reductor de agua de alta actividad.
Función secundaria:	Acelerador de endurecimiento.
Efecto secundario:	Riesgo de segregación a dosificaciones elevadas.
Aspecto físico:	Líquido marón oscuro.
pH, 20° C:	6 - 8
Densidad, 20° C:	1,200 ± 0,03 g/cm ³
Contenido en cloruros:	< 0,1%
Los datos técnicos reflejados son fruto de resultados estadísticos y no representan mínimos garantizados. Si se desearan los datos de control, puedan solicitarse las "Especificaciones de Venta" a nuestro Departamento Técnico.	



MARCADO CE DE PRODUCTO BAJO LA
DIRECTIVA UE DE PRODUCTOS DE LA
CONSTRUCCIÓN DE LA UNIÓN EUROPEA

MasterRheobuild 1000
Página 2 de 3
Edición: 01/02/2014

MASTER®
>> BUILDERS
SOLUT IONIS



The Chemical Company

MasterSet® R 719

Antes: POLYHEED RI 719

Aditivo reductor de agua de medio rango y retardante.

Descripción del producto

MasterSet R 719 es un aditivo reductor de agua de medio rango, multicomponente y libre de cloruros formulado para producir:

1. Una verdadera reducción de agua de medio rango (5 a 15%) y un excelente desempeño a través de un amplio rango de asentamiento, especialmente el rango difícil de 150 a 200 mm de asentamiento en el hormigón.
2. Aumenta el tiempo de fraguado del hormigón a lo largo del rango de dosificación recomendado.
3. Desarrollo de resistencias comparable con los aditivos reductores y retardantes en todas las edades.
4. Mejor desempeño con un amplio rango de cementos, cenizas volantes, escorias granuladas y agregados (incluyendo la grava y las arenas manufacturadas).

MasterSet R 719 cumple con los requisitos de la norma ASTM C494 para aditivos retardantes Tipo B y reductores de agua y retardantes Tipo D, específicamente formulado para:

- Reduce el contenido de agua para un asentamiento dado.
- Mejores características del tiempo de fraguado.
- Incremento en el desarrollo de las resistencias a la compresión y a la flexión en todas las edades.
- Mejoramiento en la durabilidad del hormigón al daño ocasionado por congelamiento y deshielo.
- Reducción de contracciones.

Campo de aplicación

Se recomienda en todo hormigón donde se quiera extender el fraguado, la trabajabilidad y acabados superiores, especialmente en climas cálidos.

- Particularmente efectivo en asentamientos de medio rango (150 a 200 mm).
- Puede usarse en hormigón arquitectónico y hormigón con color.
- Puede usarse con aditivos inclusores de aire, siempre que satisfagan las especificaciones ASTM, AASHTO y GRD.

Características y beneficios

- MasterSet R 719 ayuda a la producción de un hormigón de calidad proporcionando las siguientes ventajas especiales:
- Trabajabilidad y bombeabilidad superior en aplicaciones en clima caluroso.
- Reduce la segregación.
- Mejores características de acabado en pisos y en cualquier aplicación donde se utilice encofrado.
- Desempeño consistente en hormigón con asentamiento bajo, medio rango de asentamiento de 150 a 200 mm y alto asentamiento del hormigón.
- MasterSet R 719 resulta efectivo ya sea como un aditivo único o como parte de un sistema de aditivos de Master Builders Solutions.

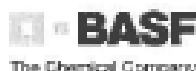
Presentación

MasterSet R 719 se suministra en tambores de 208 l y a granel.

Datos técnicos*

Mezcla	Fraguado Inicial	Diferencia
Unidad	Hrs: mins	Hrs: mins
Normal	2:45	
MasterSet R 719 683 ml/100Kg	8:30	+3:45

MASTER®
BUILDERS
SOLUTIONS



The Chemical Company

Mezcla	Resistencia 7 días		Resistencia 28 días	
	Mpa	%	Mpa	%
Normal	22.2	100	27.9	100
MasterSet R 719 683 ml/100Kg	31.8	142	39.8	143

Cuando se vaya a utilizar MasterSet R 719 con otro aditivo, cada uno debe dosificarse por separado en la mezcladora.

Características de desempeño:

Datos de la mezcla: 350 kg de cemento por m³.
Asentamiento de 160 mm, sin aire incluido. Temperatura del hormigón 32°C, temperatura ambiente 32°C.

Sin cloruros, sin corrosión:

MasterSet R 719 no contiene cloruro de calcio añadido ni algún otro agente químico que contenga cloruros, por lo tanto no provoca la corrosión del acero de refuerzo del hormigón.

*Los datos técnicos reflejados son fruto de resultados estadísticos y no representan mínimos garantizados. Si se desean los datos de control, pueden solicitarse a nuestro Departamento Técnico.

Dosificación

MasterSet R 719 se recomienda en un rango de 200 a 700 ml por cada 100 kg de cemento, en la mayoría de las mezclas de hormigón para clima caluroso. Master Builders Solutions no recomienda usar dosificaciones fuera del rango establecido sin antes realizar pruebas de campo. Consulte a su representante local de BASF para determinar el rango de dosificación óptimo.

Manipulación

- Si MasterSet R 719 se congela, llévase a una temperatura de 2°C o más, y agítese hasta que esté completamente reconstituido. No use aire a presión para agitarlo.

La aplicación adecuada del producto es responsabilidad del usuario. Toda visita de campo realizada por el personal de BASF tiene como fin único el hacer recomendaciones técnicas y no el supervisar o proporcionar control de calidad en el lugar de la obra.

Almacenamiento

La vida útil de MasterSet R 719 es de 12 meses como mínimo, si se mantiene en su envase original cerrado y almacenado en un sitio fresco y seco.

Para mayor información, consulte la Hoja de Datos de Seguridad (MSDS) o a su representante local BASF o llame a las líneas de emergencia locales de Giproquim y/o BASF que se encuentran al final del catálogo.





NOTA:

La presente ficha técnica sirve, al igual que todas las demás recomendaciones e información técnica, únicamente para la descripción de las características del producto, forma de empleo y sus aplicaciones. Los datos e informaciones reproducidos, se basan en nuestros conocimientos técnicos obtenidos en la bibliografía, en ensayos de laboratorio y en la práctica.

Los datos sobre consumo y dosificación que figuran en esta ficha técnica, se basan en nuestra propia experiencia, por lo que estos son susceptibles de variaciones debido a las diferentes condiciones de las obras. Los consumos y dosificaciones reales, deberán determinarse en la obra, mediante ensayos previos y son responsabilidad del cliente.

Para un asesoramiento adicional, nuestro Servicio Técnico, está a su disposición.

BASF Química Colombiana S.A. se reserva el derecho de modificar la composición de los productos, siempre y cuando éstos continúen cumpliendo las características descritas en la ficha técnica.

Otras aplicaciones del producto que no se ajusten a las indicadas, no serán de nuestra responsabilidad.

Otorgamos garantía en caso de defectos en la calidad de fabricación de nuestros productos, quedando excluidas las reclamaciones adicionales, siendo de nuestra responsabilidad las acciones de reintegrar el valor de la mercancía suministrada.

Debe tenerse en cuenta las eventuales reservas correspondientes a patentes o derechos de terceros.

Edición: 20/06/2014

La presente ficha técnica pierde su validez con la aparición de una nueva edición.

BASF Química Colombiana S.A.
Calle 99 # 69C – 32
Bogotá, D.C. Colombia
Tel: +57 1 632 20 99
www.basf-co.com.co

BASF Venezolana SA
Edif. Toracón, Piso 4, Of. 4B
Av. Veracruz con calle la Guaira,
Tel: + 58 212 9586711
www.basf-cc.com.ve

BASF Ecuatoriana SA
Av. Naciones Unidas 1014
y Av. Amazonas Edif. La Previsora
Tel : + 593 2387 9500
www.basf-cc.com.ec

Para obtener más información: Visítenos: www.basf-cc.com.ec



MasterSet® R 719 (Alcance: Determinación del rango de dosificación óptima)

Antes: POLYHEED RJ 719

Aditivo reductor de agua de medio rango y retardante.

MasterSet R 719 se recomienda en un rango de 200 a 700 ml por cada 100 kg de cemento, en la mayoría de las mezclas de hormigón para clima caluroso. Master Builders Solutions no recomienda usar dosificaciones fuera del rango establecido sin antes realizar pruebas de campo. Consulte a su representante local de BASF para determinar el rango de dosificación óptimo.

Determinación del rango de dosificación óptimo

Empresa: HOLCIM ECUADOR. Planta de hormigón Cuenca.

Tipo de Cemento: HOLCIM HE

Agregados utilizados: Arena: Mina Sánchez / Mina Aurelio bravo. (Cuenca del Río Jubones)
Ripio: Mina Sánchez / Mina Aurelio bravo. (Cuenca del Río Jubones)

Tipo de hormigones ensayados: Todos los de producción local.

Variables evaluadas: Desarrollo de Asentamiento. ASTM C 143
Control de Asentamiento Vs Tiempo. (Evaluación de la pérdida de plasticidad y manejo de la mezcla)
Determinación de tiempos de fraguado. ASTM C 403
Evolución de resistencias. ASTM C39 / ASTM C78

Rango de dosificación estándar: MasterSet R 719 se recomienda en un rango de 200 a 700 ml por cada 100 kg de cemento (0,24% a 0,82%). (Referencia de la ficha técnica)

Rango de dosificación óptimo Holcim Cuenca: Puede usarse hasta el 1,80% del peso del cemento, siempre y cuando los hormigones sean elaborados con los materiales antes descritos. Con la dosificación mencionada, los valores obtenidos de las variables evaluadas están dentro de parámetros normales. Si la fuente de los materiales componentes del hormigón cambia, deberá evaluarse nuevamente la dosificación óptima. Se recomienda además la evaluación periódica de esta variable con el objetivo de conocer a lo largo del tiempo su comportamiento, en donde además se debe tener en cuenta la influencia que pueda tener el factor climático.

BASF ECUATORIANA S.A.

Hoja Técnica
Edición N°4 01-2008
Identificación n° 100625/29
Versión - 01
Antisol Blanco

Construcción

Antisol® Blanco Concentrado

Curador para hormigón y mortero

Descripción	El Antisol Blanco Concentrado es una emulsión de parafina, que al aplicarse sobre el hormigón fresco, forma una película delgada, elástica e impermeable al agua y al aire.
Usos	Para curar hormigón o mortero expuestos al medio ambiente. La película que forma el Antisol Blanco Concentrado retiene el agua de la mezcla, evitando el resqueamiento prematuro, garantizando una completa hidratación del cemento, un normal desarrollo de resistencias y ayudando a controlar el agrietamiento de grandes áreas de hormigón o mortero expuestas al sol y al viento.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none">■ Antisol evita el resqueamiento prematuro y por tanto la reducción de resistencia, las grietas por secado rápido, la mala calidad superficial del concreto.■ Antisol sólo es necesario aplicarlo una vez, por lo tanto, evita costos de operarios que deben estar continuamente saturando el hormigón.■ Su color blanco permite observar y controlar el curado durante la aplicación.
Modo de empleo	<p>El Antisol viene concentrado. Debe diluirse en agua en proporción un (1) volumen de Antisol y tres (3) volúmenes de agua.</p> <p>La dilución hecha así se aplica sobre la superficie de concreto fresco mediante brocha o fumigadora, formando una película fina y continua. La aplicación del producto se hace en dos pasadas sucesivas e inmediatas.</p> <p>Esta operación se debe hacer después de afinado el concreto e inmediatamente después que desaparezca el agua de exudación. En la aplicación con brocha debe tenerse en cuenta que aumenta el consumo y la superficie del hormigón queda rayada por las cerdas de la brocha.</p>
Datos Técnicos	<p>Bases: emulsión de parafina Aspecto: líquido color blanco Densidad: 1,0 kg/l. aprox. Almacenamiento: 12 meses en su envase original bien cerrado, en lugar fresco, y bajo techo. Presentación: Plástico: 4 kg. Plástico: 10 kg. Tambor: 200 kg.</p>



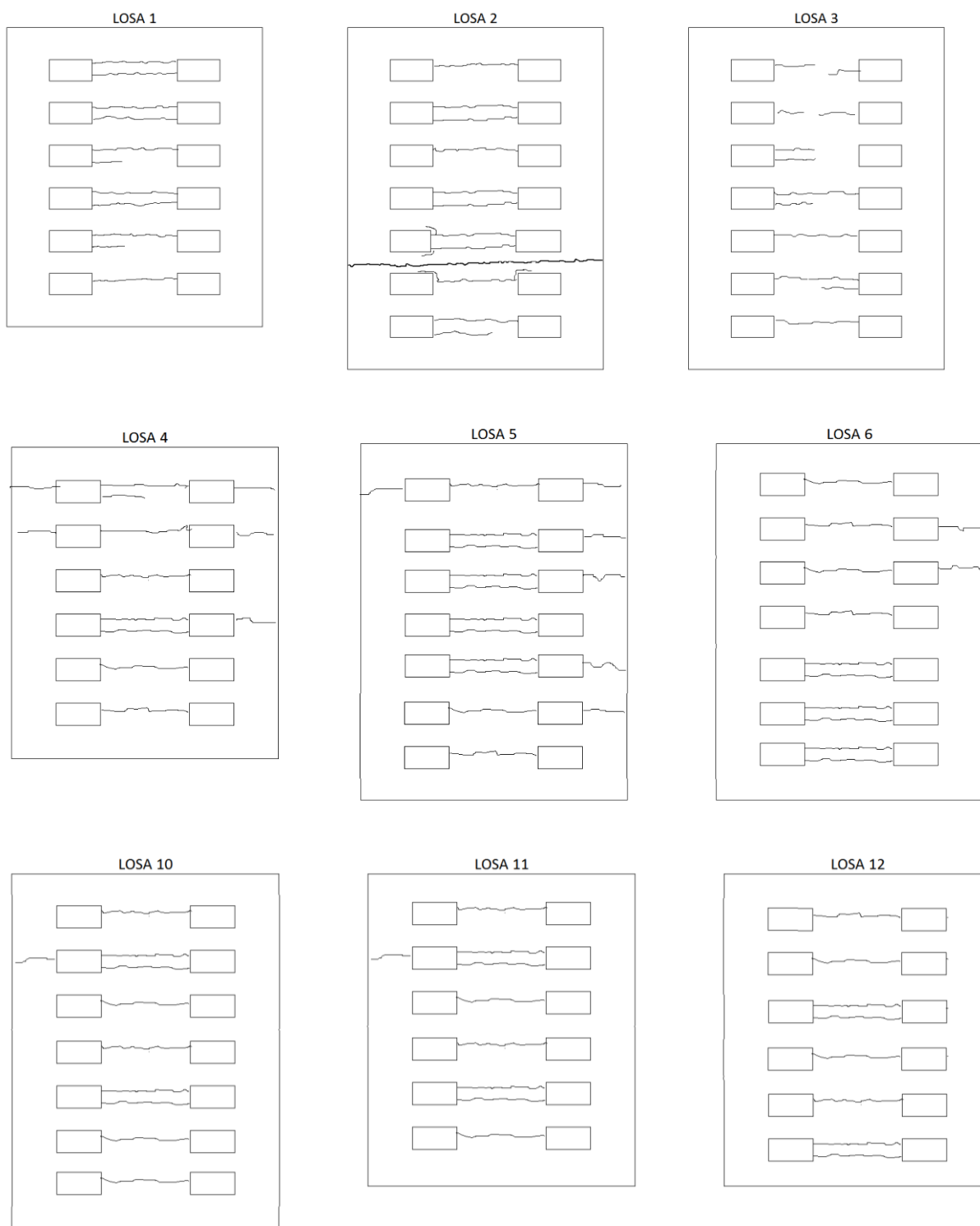
Antisol Blanco Concentrado 1/2

Construcción

Consumo	Aplicado con fumigadora agrícola, aprox. 50 g/m ² del producto concentrado, dependiendo de la velocidad del viento y la práctica del operario.
Precauciones	Antisol debe agitarse antes de la aplicación. La película de Antisol debe protegerse del tráfico para evitar dañar su impermeabilidad. Antisol debe protegerse de la lluvia por lo menos 2 horas después de su aplicación.
Códigos R/S	R: 22/25 S: 2/26

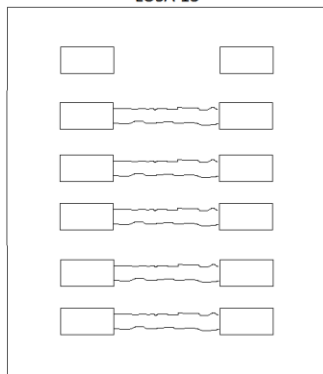


9.6. ANEXO 6. Esquema de fisuras en losas analizadas

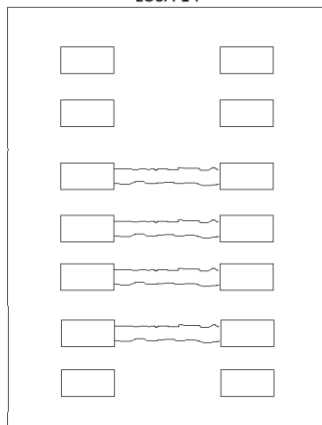




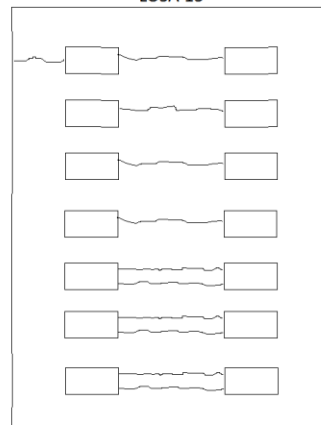
LOSA 13



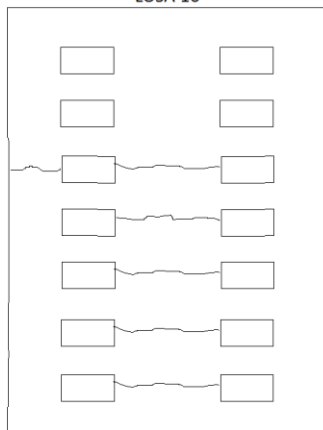
LOSA 14



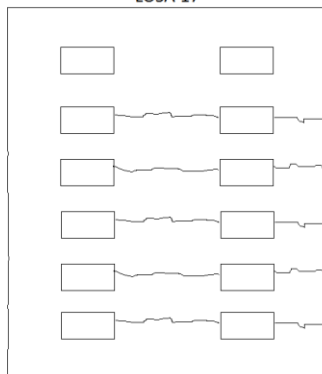
LOSA 15



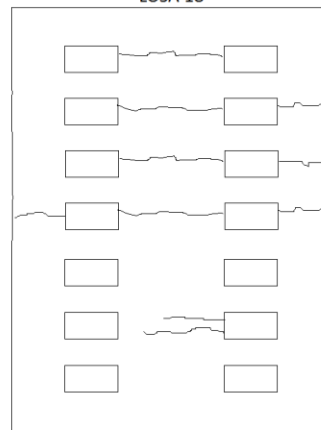
LOSA 16



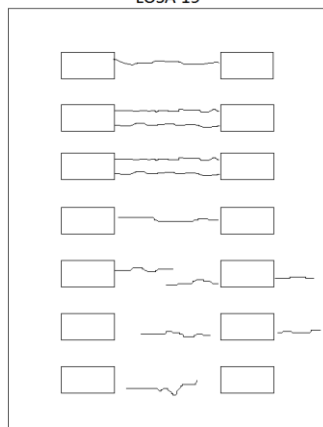
LOSA 17



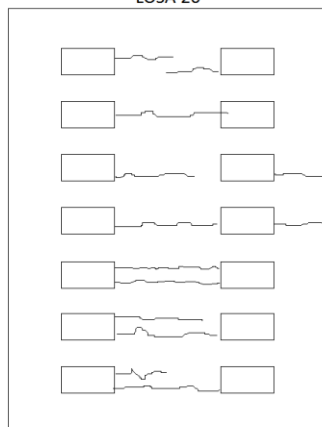
LOSA 18



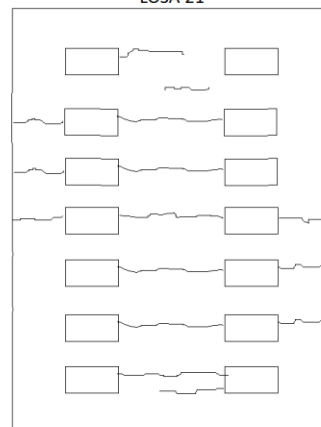
LOSA 19



LOSA 20

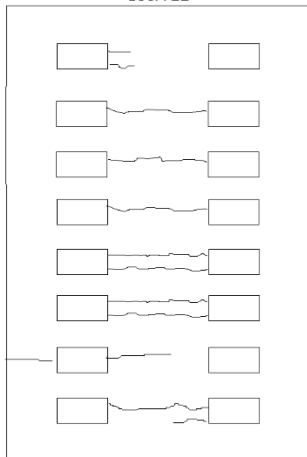


LOSA 21

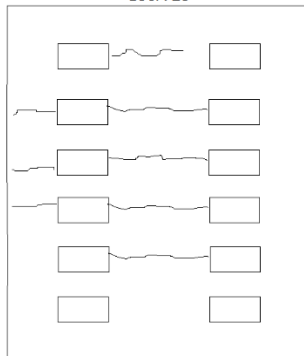




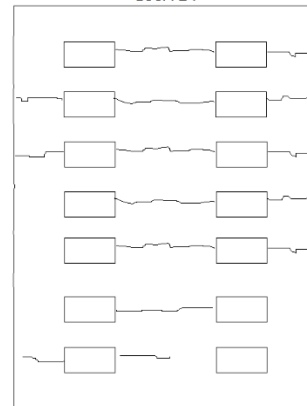
LOSA 22



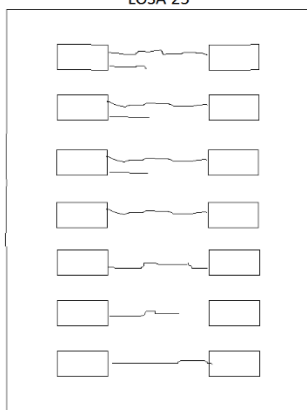
LOSA 23



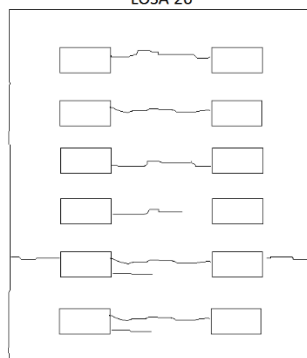
LOSA 24



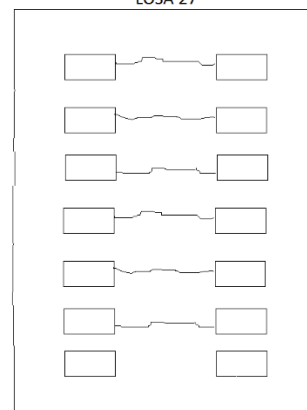
LOSA 25



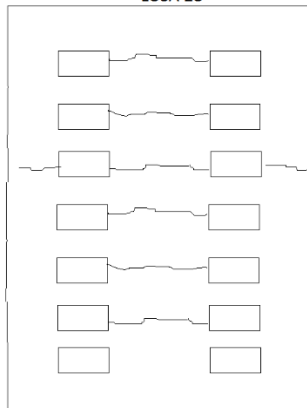
LOSA 26



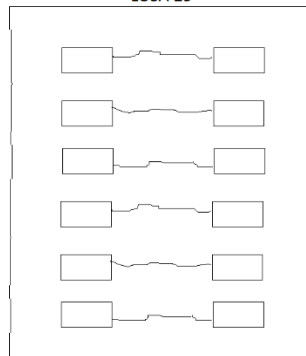
LOSA 27



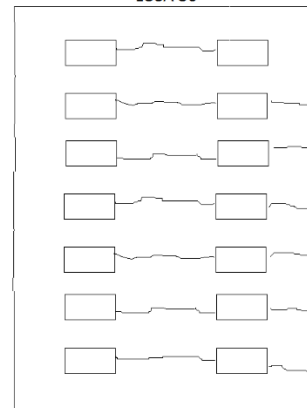
LOSA 28



LOSA 29

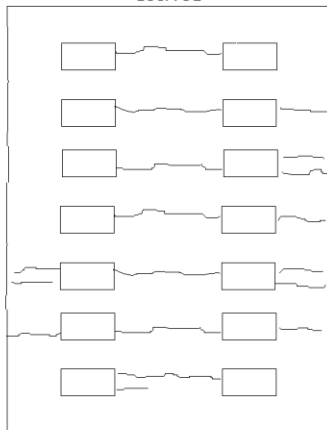


LOSA 30

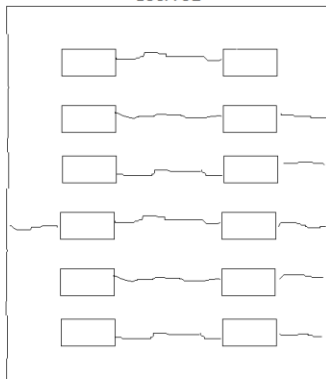




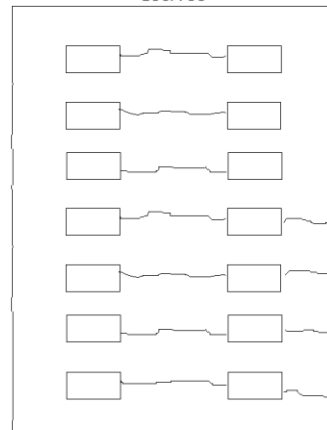
LOSA 31



LOSA 32



LOSA 33





9.7. ANEXO 7. Tabla de valores obtenidos mediante pruebas de ultrasonido para los diferentes puntos de cada losa

Los transductores se colocaron a $b=150\text{mm}$ y $2b=300\text{mm}$

Numero de Losa	tiempo 1 (micro seg)	tiempo 2 (micro seg)	velocidad (m/s)	velocidad promedio (m/s)	velocidad corregida (m/s)
1	59.7	161	1468	1472.67	1546.3
	59.8	161	1482		
	61.2	163.4	1468		
	55.2	114.7	2520	2550.00	2677.5
	55.6	114.7	2540		
	57.8	115.8	2590		
2	56.4	148.6	1627	1625.67	1706.95
	58.5	149.1	1656		
	58.6	152.7	1594		
	85.1	153.6	2180	2230.00	2341.5
	86.1	152.7	2250		
	85.2	151.5	2260		
3	53.7	152.7	1515	1537.00	1613.85
	53.6	152.5	1520		
	56.5	151.7	1576		
	64.4	161.1	1551	1582.67	1661.8
	66.4	163.9	1538		
	66.4	156.6	1659		
4	71.7	210	1085	1070.67	1124.2
	70.9	212	1063		
	71	212	1064		
	95	160.1	2300	2316.67	2432.5
	95	160.1	2300		
	95	158.9	2350		
5	86.9	154.1	2230	2280.00	2394
	87	151.9	2310		
	86.9	152	2300		



	97	116.8	7580	7160.00	7518
	96.9	117	6760		
	95	116	7140		
6	84.2	157.3	2050	2160.00	2268
	86.9	154.3	2230		
	85.5	153.7	2200		
	58	194.8	1096	1204.67	1264.9
	56.6	164.3	1393		
	57.9	191.2	1125		
7	83	161.1	1921	1978.33	2077.25
	89.9	160.2	2130		
	89.9	161.2	1884		
	87.9	164.3	1963	1972.67	2071.3
	85.9	162.2	1966		
	85.6	161	1989		
8	81.6	157.8	1969	1926.33	2022.65
	80.8	160.1	1892		
	81.9	160.1	1918		
	74.6	140.2	2290	2220.00	2331
	68.1	135.4	2230		
	66.9	136.9	2140		
9	83.7	154.2	2130	2073.33	2177
	82.4	155.4	2050		
	81.9	155.4	2040		
	89	264	857	852.67	895.3
	85.8	263	850		
	88.8	265	851		
10	76	155.3	1892	1957.67	2055.55
	76.9	152.2	1992		
	78.9	154.3	1989		
	82.6	164.3	1843	1902.00	1997.1
	85.9	162.3	1963		
	84.5	163.3	1900		
	48.3	119.4	2110	2045.33	2147.6
	50.3	122.3	2080		



11	48.4	125.5	1946		
	95.3	121.6	5700		
	95.8	120.4	6100	6070	6373.5
	97.1	120.5	6410		
12	70.2	165.5	1574		
	68	164.6	1553	1567	1645.35
	68.4	163.7	1574		
	99.6	171.4	2090		
	97.5	172.4	2000	2860	3003
	100.2	133.6	4490		
13	89.5	176.3	1728		
	92.4	175.3	1809	1788	1877.4
	92.4	174.5	1827		
	99.9	177.3	1938		
	98.1	176.4	1920	1969.33	2067.8
	96.3	169.6	2050		
14	98.2	164.5	2260		
	98.3	165	2250	2226.67	2338
	93.2	162.4	2170		
	94.9	173.7	1904		
	96.4	172.6	1969	1945.33	2042.6
	96.3	172.7	1963		
15	93.1	176.2	1805		
	95.2	176.1	1854	1815.67	1906.45
	93.6	177.5	1788		
	87.1	166.1	1899		
	93.5	166	2070	1988.00	2087.4
	90.3	165.5	1995		
16	83.3	153.1	2150		
	84.3	150.5	2270	2233.33	2345
	83.3	149.2	2280		
	94.8	166	2110		
	98.8	166	2230	2173.33	2282
	97.3	166	2180		



17	64.2	158.5	1591	1582.67	1661.8
	64.2	158.5	1591		
	63.3	159.1	1566		
	92.2	175.5	1801	1794.00	1883.7
	93.2	178.5	1758		
	93.2	175.5	1823		
18	70.2	165.7	1571	1562.67	1640.8
	69.3	166	1551		
	70.3	166.1	1566		
	100.2	166.8	2250	2223.33	2334.5
	100.3	168.8	2190		
	100.3	167.7	2230		
19	82.3	158.5	1969	2109.67	2215.15
	97.3	162.9	2290		
	84.1	156.6	2070		
	95.3	153.8	2560	2316.67	2432.5
	92.5	161.5	2170		
	95.2	162.9	2220		
20	87.2	166.5	1892	1963.67	2061.85
	93.2	169.4	1969		
	94.2	168.2	2030		
	81.1	165.3	1781	1810.33	1900.85
	85.4	167.9	1818		
	87	168.9	1832		
21	96.1	170.2	2020	2120.00	2226
	100.2	167.9	2220		
	96	166.9	2120		
	98.8	183	1781	1854.33	1947.05
	100.1	179.4	1892		
	99.1	178.4	1890		
22	108.1	187.2	1896	1930.67	2027.2
	109.9	187.5	1933		
	109	185.4	1963		
	95	177.1	1827	1776.00	1864.8
	95.9	183	1722		



	97.1	181.4	1779		
23	98.1	173.5	1989		
	99.1	178.3	1894	1908.67	2004.1
	99.1	180.5	1843		
	99.1	183.2	1784		
	97.1	183.4	1738	1721.67	1807.75
	96.2	187.5	1643		
24	95.4	181.2	1744		
	93.1	185.5	1623	1658.67	1741.6
	88.2	181.4	1609		
	102.2	179.4	1943		
	104.3	176	2090	2044.33	2146.55
	102.2	179.4	2100		
25	96.2	177.3	1850		
	96.2	173.5	1940	1925.67	2021.95
	96.9	172.4	1987		
	93.3	169	1982		
	99.9	172.4	2070	2040.67	2142.7
	97.2	169.5	2070		
26	64.2	167.9	1446		
	64.1	169.9	1418	1442.00	1514.1
	63.1	165.7	1462		
	96.1	182.3	1740		
	97.6	184.3	1730	1759.00	1846.95
	100.2	183.2	1807		
27	70.1	171	1487		
	68.2	169.4	1482	1492.67	1567.3
	70	169.4	1509		
	69.9	173.3	1451		
	71.2	174.4	1453	1435.00	1506.75
	70.2	177.3	1401		
28	66.1	167.9	1473		
	66.9	167	1499	1461.33	1534.4
	66.2	172.4	1412		



	62.2	171.1	1377		
	65.1	173.4	1385	1385.00	1454.25
	68.2	175.9	1393		
29	71.1	185.4	1312		
	71.2	185.4	1312	1320.33	1386.35
	73.3	185.5	1337		
	109.1	190.7	1838		
	111.1	193.2	1827	1842.00	1934.1
	110.2	190.8	1861		
30	99.1	170.8	2090		
	98.1	171.3	2050	2076.67	2180.5
	99.1	170.7	2090		
	71.4	231	940		
	71.4	232	934	947.67	995.05
	74.2	229	969		
31	59.1	170.1	1351		
	62	169.8	1391	1383.00	1452.15
	63.1	169.7	1407		
	66.9	109.1	3550		
	67.1	110	3500	3513.33	3689
	67.1	110.1	3490		
32	70.3	181.9	1345		
	73	183.2	1361	1351.67	1419.25
	73.1	184.3	1349		
	70.2	182.1	1390		
	70.1	184.4	1312	1342.00	1409.1
	71	184.3	1324		
33	111.1	187.2	1971		
	113	188.3	1992	1997.67	2097.55
	114	188	2030		
	72.9	183	1362		
	72.2	182.9	1355	1350.67	1418.2
	72.8	185.9	1335		



9.8. ANEXO 8. Tabla de valores obtenidos mediante pruebas con esclerómetro para los diferentes puntos de cada losa

LOSA	Puntos en losa	Q medio	varianza	#	f'c	c	y
1	superiores	48,4	5,1	3762	345	0,81	413
	inferiores	51,7	3,4	3775	425	0,8	441
2	superiores	49,5	2,6	3801	360	0,78	422
	inferiores	49,3	3,1	3614	365	0,81	420
3	superiores	52,3	2,8	3668	440	0,8	446
	inferiores	49,9	2,6	3685	365	0,78	425
4	superiores	52	2,8	3699	430	0,8	443
	inferiores	51,9	4,6	3715	430	0,8	442
5	superiores	49,7	3,9	3730	365	0,78	424
	inferiores	49,6	2,3	3742	360	0,78	423
6	superiores	49,5	3,3	3830	360	0,78	422
	inferiores	50	3,3	3847	370	0,78	426
7	superiores	49,8	3,5	3865	365	0,78	425
	inferiores	50,2	3,6	3884	375	0,78	428
8	superiores	48	3,4	3900	390	0,81	409
	inferiores	49,8	3,8	3915	365	0,78	425
9	superiores	47,9	3,7	3935	335	0,81	408
	inferiores	49,4	3	3949	370	0,81	421
10	superiores	49,8	3	3962	365	0,78	425
	inferiores	52,2	3,5	3975	435	0,8	445
11	superiores	52,3	2,1	3989	440	0,8	446
	inferiores	52,6	3,3	4021	450	0,8	448
12	superiores	52,7	3,3	4034	460	0,82	449
	inferiores	48,6	2,4	4049	350	0,81	414
13	superiores	47,5	4,4	4068	325	0,81	405
	inferiores	50	2,6	4086	370	0,78	426
14	superiores	49,9	1,9	4099	365	0,78	425
	inferiores	49,2	3,8	4113	365	0,81	419
15	superiores	46,7	3,5	4138	310	0,81	398
	inferiores	47,5	1,9	4160	325	0,81	405
16	superiores	47,7	2,2	4187	330	0,81	407
	inferiores	50,8	3,7	4202	390	0,78	433
17	superiores	50,3	2,4	4216	410	0,8	429
	inferiores	50,8	2,6	4230	390	0,78	433
18	superiores	50	3,5	4243	370	0,78	426
	inferiores	48	3,4	4254	340	0,81	409
19	superiores	48,4	3,2	4280	345	0,81	413



	inferiores	48,6	2,5	4297	350	0,81	414
20	superiores	49,7	3	4309	365	0,78	424
	inferiores	47,3	4,6	4350	325	0,81	403
21	superiores	47,6	3,6	4385	330	0,81	406
	inferiores	48,4	3,6	4403	345	0,81	413
22	superiores	48,1	3	4418	340	0,81	410
	inferiores	51,3	3,2	4464	410	0,8	437
23	superiores	50,5	3,8	4498	380	0,78	431
	inferiores	47,1	3,3	4517	320	0,81	402
24	superiores	47,4	1,7	4540	325	0,81	404
	inferiores	46,5	4	4558	305	0,81	396
25	superiores	42,9	4,2	4577	240	0,8	366
	inferiores	41,8	3,7	4590	225	0,8	356
26	superiores	48,3	2,7	4604	345	0,81	412
	inferiores	46,5	4,9	4638	305	0,81	396
27	superiores	47,3	2,5	4949	325	0,81	403
	inferiores	49,9	3,6	4662	365	0,78	425
28	superiores	46,7	3	4674	310	0,81	398
	inferiores	48,5	3,6	4686	350	0,81	413
29	superiores	48,2	3,3	4698	340	0,81	411
	inferiores	46,8	3,6	4713	315	0,81	399
30	superiores	47,3	4,6	4731	325	0,81	403
	inferiores	45,9	3	4745	306	0,83	391
31	superiores	50,3	2,7	4760	375	0,78	429
	inferiores	46,2	5	4779	310	0,83	394
32	superiores	48,8	2,6	4793	355	0,81	416
	inferiores	45,8	4	4810	300	0,83	390
33	superiores	43	2,9	4837	240	0,8	367
	inferiores	43,8	4,1	4855	265	0,82	373